



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta Elektrotechnická**

**Katedra Ekonomiky, Manažerství a Humanitních věd**

**Ekonomika nových jaderných zdrojů**

**Economics of new nuclear power plants**

Bakalářská práce

Studijní program: EEM

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Marek Adamec

**Miroslav Nejedlý**

---

**Praha 2014**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Nejedlý** Miroslav

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektrotechnika a management

*Název tématu:*

### **Ekonomika nových jaderných zdrojů**

*Pokyny pro vypracování:*

1. Přehled současných typů jaderných zdrojů
2. Využívané jaderné zdroje v ČR
3. Nový jaderný zdroj v ČR a v zahraničí
4. Náklady výroby elektřiny v JE a užívané způsoby podpory

*Seznam odborné literatury:*


1. Klik F. a kol.: Jaderná energetika. ČVUT Praha, 2002.
2. Vaněk V.: Bez jádra to nepůjde. ČEZ,a.s, 2008.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Adamec, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

L.S.

*Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*

  
vedoucí katedry

*Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.*

  
děkan

V Praze dne 10.2.2014

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci „Ekonomika nových jaderných zdrojů“ vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

*V Praze dne: 18 .5. 2014*

*podpis: Miroslav Nejedlý*

## **Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Adamcovi za cenné připomínky a čas, který mi věnoval při psaní této práce.

## Obsah:

|  |    |
|--|----|
| Úvod.....  | 7  |
| 1. Přehled současných typů jaderných zdrojů.....                 | 9  |
| 1.1 Rozdělení jaderných reaktorů .....                           | 9  |
| 1.1.1 Lehkovodní typy: .....                                     | 11 |
| 1.1.2 Grafitem moderované typy: .....                            | 12 |
| 1.1.3 Reaktory moderované těžkou vodou .....                     | 14 |
| 1.1.4 Rychlé reaktory bez moderátoru .....                       | 15 |
| 1.2 Jednotlivé generace jaderných reaktorů.....                  | 17 |
| 2. Využívané jaderné zdroje v ČR.....                            | 19 |
| 2.1 Historie jaderné energetiky .....                            | 19 |
| 2.2 Historie jaderné energetiky v České republice .....          | 20 |
| 2.3 Jaderná elektrárna Dukovany.....                             | 21 |
| 2.3.1 Technologie .....  | 21 |
| 2.3.1.1 Primární okruh .....                                     | 21 |
| 2.3.1.2 Sekundární okruh.....                                    | 23 |
| 2.3.1.3 Kondenzační okruh .....                                  | 24 |
| 2.4 Jaderná elektrárna Temelín.....                              | 25 |
| 2.4.1 Lokalita .....   | 25 |
| 2.4.2 Technické provedení jaderné elektrárny Temelín .....       | 26 |
| 2.4.2.1 Hlavní stavební objekty .....                            | 26 |
| 2.4.2.2 Reaktor.....   | 27 |
| 2.4.2.3 Vyřazení z provozu .....                                 | 29 |
| 3. Nový jaderný zdroj v ČR a v zahraničí.....                    | 30 |
| 3.1 Nový jaderný zdroj v ČR.....                                 | 30 |
| 3.1.2 Důvody a přínosy.....                                      | 30 |
| 3.1.3 Lokalita .....   | 31 |
| 3.1.3 Výstavba .....   | 32 |
| 3.2 Nový jaderný zdroj v zahraničí.....                          | 36 |
| 3.2.1 Výstavba jaderných elektráren v Evropě .....               | 37 |
| 3.2.2 Výstavba jaderných elektráren ve světě.....                | 38 |
| 4. Náklady výroby elektřiny v JE a užívané způsoby podpory ..... | 40 |

|   |    |
|---|----|
| Závěr .....                             | 47 |
| Zdroje:.....                            | 49 |
| Seznam použitých obrázků a tabulek..... | 54 |
| Přílohy.....                            | 56 |

**abstrakt:**

Tato práce se zabývá uceleným přehledem o jaderných elektrárnách. V prvním bodě jde o přehled používaných jaderných zdrojů. O jejich vzniku, současné podobě a budoucnosti. V oblasti jaderných reaktorů jde o popsání jejich funkce a rozdílů mezi nimi. Bližší informace jsou uvedeny ve druhém bodě u jaderných zdrojů nacházejících se v České republice. Třetí bod se zabývá výstavbou jaderné elektrárny v České republice a jejími specifiky. Poslední bod je věnován popisu a výpočtu nákladů jaderné elektrárny, užívaným způsobům podpory a vyhodnocením investice do jaderné elektrárny.

**abstract:**

This work deals with a comprehensive overview of nuclear power plants. The first part is about the overview of the nuclear plants, about their creation, current form and future. In the area of nuclear reactors in terms of describing their features and differences between them. More details are given in the second paragraph of nuclear resources located in the Czech Republic. The third section deals with the construction of a nuclear power plant in the Czech Republic and its specifics. The last section is devoted to the description and calculation of the costs of nuclear power plants, used to ways of encouraging and evaluating investments in nuclear power plants.

# Úvod

Jaderná energie, zdroj, který disponuje velkým potenciálem, ale i obrovskou silou. Mnohdy označován za nebezpečný, ale mnohem více používán a oceňován jako nesmírně důležitý zdroj energie, který potřebujeme ke každodennímu životu. V podobě jaderných elektráren se jedná o stabilní zdroj, který je schopen dodávat obrovské množství energie za nízké provozní náklady a malé množství paliva v porovnání s ostatními elektrárnami, používajícími paliva fosilní.

Jaderná energetika samozřejmě přináší množství rizik, kvůli kterým je na ně nahlíženo s opatrností, mnohdy s odporem. Ať už jde například o problém týkající se vyhořelého paliva a jeho uložení, či možného úniku radiace z reaktoru. Právě díky hrozbě těchto nebezpečí a některým haváriím, které se v minulosti staly, je kladen takový důraz na současnou bezpečnost jaderných elektráren. V naprosté většině případů je nereálné, aby se havárie z minulosti opakovaly. Navíc jaderné elektrárny, s jejichž výstavbou se počítá do budoucna, budou mít ještě mnohem lepší a účinnější bezpečnostní systém, než je tomu nyní. Tedy možnost, že nastane nějaká havárie či vážná porucha bude opravdu minimální.

V současné době řeší mnoho států otázku jaderných elektráren. V mnoha zemích se jaderné elektrárny staví a v mnoha zemích se s jejich výstavbou počítá. Jsou i země, které jadernou energii odmítají a přiklání se k jiným zdrojům. Ty státy, které s výstavbou počítají, musí pečlivě zvážit všechny možnosti. Ať už jde o firmu, která jadernou elektrárnu postaví, typ reaktoru a systém, jaký elektrárna bude mít, či zda se jim tato obrovská investice vyplatí. Pro danou zemi se jedná o velmi závažné kroky, protože stavba jaderné elektrárny zabere mnoho let a obvykle stojí stovky miliard.

Moje práce nese název Ekonomika nových jaderných zdrojů, což je široký pojem, pod kterým si lze představit mnohé. V rámci této práce se budu zabývat čtyřmi hlavními body, ve kterých budu popisovat dané téma a problematiku.

Prvním bodem je přehled současných typů jaderných zdrojů, který je rozdělen na dvě části. V první části budou popsány nejčastěji používané jaderné reaktory, jejich vlastnosti, výhody, nevýhody a jejich obecný přehled. Ve druhé části budou jaderné



zdroje rozděleny do jednotlivých generací, kde je stručně vysvětleno, kdy byly, jsou, či budou tyto generace aktuální a jakými vlastnostmi se vyznačují.

Druhým bodem jsou využívané jaderné zdroje v České republice, kde bude nejprve napsaná historie jaderné energetiky v zahraničí a následně v České republice. Poté budou popsány jaderné zdroje, které se nacházejí na území České republiky, konkrétně jaderná elektrárna Temelín a jaderná elektrárna Dukovany, které budou podrobněji popsány, ale každá z trochu jiného hlediska.

Třetím bodem je nový jaderný zdroj v ČR a v zahraničí. Novým jaderným zdrojem v České republice je myšlena dostavba jaderné elektrárny Temelín a bude rozebírána z hlediska důvodů pro dostavbu, lokalitou a možným scénářem dostavby, až už jde o čas, kdy by mělo k výstavbě dojít, nebo firmy, která by se měla na dostavbě podílet. V druhé části třetího bodu s názvem nový jaderný zdroj v zahraničí, budou zpracovány vybrané jaderné elektrárny, které se v Evropě a ve světě staví, či v nejbližší době plánují stavět.

Čtvrtý bod nese název Náklady výroby elektřiny v JE a užívané způsoby podpory. V tomto bodě se budu zabývat jednotlivými a celkovými náklady jaderné elektrárny. Budu zkoumat příjmy a zisky a následné zhodnocení investice pro různé varianty ceny výkupu elektřiny. Zároveň budu počítat, při jaké ceně výkupu elektřiny a stanoveném diskontu se investice v podobě jaderné elektrárny vyplatí.

# **Ekonomika nových jaderných zdrojů**

## **1. Přehled současných typů jaderných zdrojů**

### **1.1 Rozdělení jaderných reaktorů**

Jaderné reaktory se rozdělují na dva typy, tepelný a rychlý reaktor. Obvyklý tepelný reaktor musí obsahovat moderátor, který má za úkol zpomalovat neutrony. Pokud jsou neutrony zpomalené, je vyšší šance vyvolat jadernou reakci, než by tomu bylo při nezpomalené reakci. Jako moderátor se používá grafit (tuha), těžká voda, lehká voda. Podle druhu moderátoru a chladiva máme několik typů reaktorů. Toto je jedním ze způsobů dělení typů reaktorů.

Grafitový reaktor patří mezi nejstarší reaktory a jako moderátor používá již výše zmíněný grafit. Jako chladivo se používá lehká voda. Jeho výhodou je dosahovaný výkon až 2 500 MW (podle použitého principu), jednoduchost a nenáročnost, ale nese s sebou velká rizika a to především v poruše chladících kanálů v reaktoru, kdy se voda okamžitě změní na páru. Při styku páry s grafitem za vysokých teplot hrozí riziko chemické exploze. O něco bezpečnější je grafitový reaktor chlazený plynem (GCR). Grafitové reaktory se v dnešní době již nestaví. Jako palivo se u grafitových reaktorů používá mírně obohacený přírodní uran.

Těžkovodní reaktor používá jako moderátor těžkou vodu a chladicí látkou je těžká nebo lehká voda. Tento druh reaktoru je bezpečnější než grafitový a to právě díky vodě používané jako moderátor i chlazení. Když dojde k odpaření vody, je tím i utlumena reakce. Nevýhodou je ale oproti grafitovým reaktorům menší výkon dosahující okolo 500 MW.

Lehkovodní reaktor je chlazen i moderován lehkou vodou ( $H_2O$ ). Jako palivo se používá obohacený uran (koncentrace izotopu  $U_{235}$  dosahuje 4,5 %), protože lehká voda má horší moderované vlastnosti než je tomu u jiných moderátorů. Lehkovodní reaktory jsou nejrozšířenější typ reaktorů a to hlavně z důvodu jednoduchosti, levného provozu a vyšší bezpečnosti. Podle konstrukce se lehkovodní reaktory dělí na tlakovodní (VVER), západní typy jsou nazývány PWR a varné (BWR) reaktory. U VVER reaktorů je

dosahovaný výkon nižší než u grafitových reaktorů, ale oproti těžkovodním reaktorům je zhruba 2,5 krát vyšší, dosahuje kolem 1 300 MW. BWR reaktory dosahují nejčastěji výkonů kolem 900 MW.

U rychlých reaktorů není potřeba moderátoru a řízená štěpná reakce probíhá pomocí působení nezpomalených, rychlých neutronů. Jako palivo se používá plutonium ve směsi oxidu plutoničitého a uraničitého a během provozu je vyprodukováno více plutoniového paliva, než kolik se ho spotřebuje. Díky spotřebě paliva a samotnému palivu, kterého je dostatek na velmi dlouhou dobu, je těmto reaktorům přisuzován velký vliv do budoucna. U těchto reaktorů je třeba klást větší důraz na chlazení, protože „v každém litru jeho objemu se uvolňuje až desetkrát více tepla než u klasických pomalých reaktorů“ [1] a toto množství tepla již není možno chladit plynem ani vodou, používá se proto sodík.

Zdroje: [1] [2]

### Rozdělení jaderných reaktorů:

| reaktor | Moderátor      | chladiivo        | Označení                                     |
|---------|----------------|------------------|--|
| Tepelný | Lehká voda     | H <sub>2</sub> O | Tlakovodní (PWR)                             |
|         |                | H <sub>2</sub> O | Varné (BWR)                                  |
|         |                | Co <sub>2</sub>  | Plynem chlazené (GCR) a zdokonalené (AGR)    |
|         | Grafit         | He               | Vysokoteplotní (HTGR)                        |
|         |                | H <sub>2</sub> O | Vodou chlazený (LWGR)                        |
|         |                | D <sub>2</sub> O | Těžkovodní CANDU (PHWR)                      |
|         | Těžká voda     | H <sub>2</sub> O | Těžkovodní, chlazený obyčejnou vodou (HWLWR) |
|         |                | CO <sub>2</sub>  | Těžkovodní, chlazený plynem (HWGCR)          |
| Rychlý  | Bez moderátoru | Na               | Rychlý množinový (FBR)                       |

Tabulka 1. Základní rozdělení reaktorů

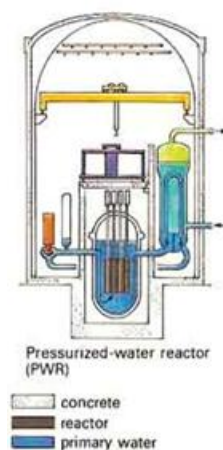
### 1.1.1 Lehk vodní typy:

#### VVER/PWR

PWR (Pressurized Water Reactor) nebo také VVER (vodo-vodní energetický reaktor-ruský typ) je tlakový reaktor, který je chlazený a moderovaný vodou o vysokém tlaku a v dnešní době patří mezi nejpoužívanější a nejrozšířenější reaktory na světě (zhruba 60%). Byl vyvinut v USA, je hojně zastoupen ve Francii a najdeme ho i v České republice v jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany. Oproti jiným typům má tu výhodu, že v situaci, kdy z jakéhokoliv důvodu není v reaktoru voda, reakce se sama zastaví. K výměně vyhořelého paliva a odstavení reaktoru dochází jednou za rok až rok a půl, kdy se nahrazuje 1/3 palivových souborů.

Základní parametry 1000 MW reaktoru:

- Palivo - obohacený uran ve formě oxidu urančitého ( $\text{UO}_2$ ). Obohacení izotopem -  $^{235}\text{U}$  na 3,1% až 4,4%
- Rozměry aktivní zóny - 3m průměr x 3,5m výška
- Tlak vody v reaktoru - 15,7 MPa
- Teplota vody na výstupu z reaktoru -  $324^\circ\text{C}$
- Účinnost elektrárny - 32,7%
- Množství paliva v reaktoru - 60 až 80 tun  $\text{UO}_2$



Zdroje: [3] [4]

Obrázek 1. Reaktor PWR

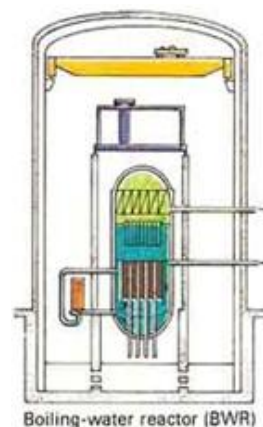
#### BWR

Varný reaktor ( BWR - boiling water reactor) je druhý nejrozšířenější typ reaktoru, který zaujímá přibližně 21% všech reaktorů. Je chlazen a moderován vodou a jedná se o jednookruhový systém, kdy k varu dochází v tlakové nádobě reaktoru a pára, která takto vznikne, přímo pohání turbínu. Výhodou je vyšší energetická účinnost, ale je méně bezpečný a pára pohánějící turbínu je radioaktivní. Výměna vyhořelého paliva probíhá u tohoto typu reaktoru jednou za rok až rok a půl při odstavení reaktoru. Tento reaktor

je nejvíce zastoupen v USA a také v Japonsku, kde došlo v roce 2011 v elektrárně Fukušima k poškození elektrárny v důsledku zemětřesení a následnému tsunami.

Základní parametry 1000 MW reaktoru:

- Palivo - mírně obohacený uran ve formě oxidu urančitého ( $\text{UO}_2$ ). Obohacení izotopem -  $^{235}\text{U}$  na 2,1%
- Rozměry aktivní zóny - 4,5m průměr x 3,7m výška
- Tlak vody v reaktoru - 7 MPa
- Teplota vody na výstupu z reaktoru -  $286^\circ\text{C}$
- Účinnost elektrárny - 33,3%
- Množství paliva v reaktoru - 122,3 tuny  $\text{UO}_2$



Obrázek 2. Reaktor BWR

Zdroje: [3] [4]

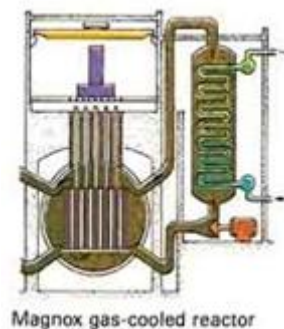
### 1.1.2 Grafitem moderované typy:

Magnox

Magnox GCR (Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor)-jedná se o plynem chlazený reaktor, nejčastěji oxidem uhličitým. Jeho kompaktní palivové články tvoří tyče z kovového přírodního uranu, které jsou pokryté oxidem hořčíku. Aktivní zóna ve tvaru svislého válce je složena z grafitových bloků, kterými prochází několik tisíc svislých kanálů a do každého se nad sebou umísťuje několik palivových tyčí. Celá tato aktivní zóna je uzavřena v kulové ocelové tlakové nádobě, kterou obestavuje silné betonové stínění. Velkou výhodou je nejen možnost výměny paliva za provozu, díky čemuž může pracovat efektivněji, ale také velká tepelná účinnost srovnatelná s tlakovými reaktory. V dnešní době se tyto reaktory již nestaví a více méně dosluhují. Nejvíce s vývojem tohoto typu reaktoru pokročila Velká Británie, kde je nejvíce zastoupen, ale objevuje se také v Japonsku.

Základní parametry 600 MW reaktoru:

- Palivo - přírodní kovový uran
- Rozměry aktivní zóny - 17,4m průměr x 9,1m výška
- Tlak plynu v reaktoru - 2,75 MPa
- Teplota plynu na výstupu z reaktoru - 360°C
- Účinnost elektrárny - 25,8%
- Množství paliva v reaktoru - 595 tun uranu



Obrázek 3. Reaktor Magnox

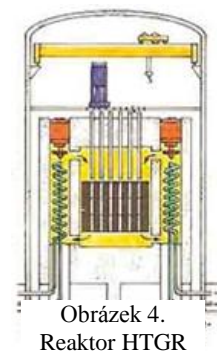
Zdroje: [3] [4]

## HTGR

HTGR (High Temperature Gas Cooled Reactor) je vysokoteplotní reaktor. Jako moderátor slouží grafit, který zároveň plní i funkci pevné, tepelně odolné schránky uranu i vznikajících radioaktivních zbytků a jako chladivo je použito hélium, které je proháněné skrze aktivní zónu a může být využito i pro jiné než energetické účely, například pro výrobu vodíku. Palivem je vysoce obohacený uran ve formě malých kuliček (obalených třemi vrstvami karbidu křemíku a uhlíku) rovnoměrně rozptýlených v kouli grafitu velkého jako tenisový míček, kterých je zhruba 20 000. Výhodou tohoto reaktoru je vysoká bezpečnost a velká teplota na výstupu reaktoru a díky tomu má i velmi vysokou účinnost při výrobě elektrické energie. Jejich výstavbou se zabývala Velká Británie, Německo a USA.

Základní parametry 1000 MW reaktoru:

- Rozměry aktivní zóny - 5,6m průměr x 6m výška
- Účinnost elektrárny - 39%
- Množství paliva v reaktoru - 0,33 tuny UO<sub>2</sub> a 6,6 tuny ThO<sub>2</sub>
- Tlak hélia v reaktoru - 4 MPa a teplota na výstupu reaktoru 750°C
- Palivo - vysoce obohacený uran ve formě oxidu urančitého. Obohacení izotopem <sup>235</sup>U na 93%



Zdroje: [3] [4]

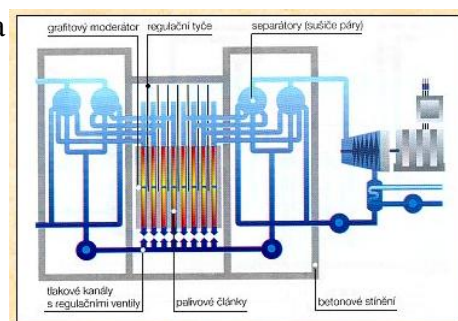
## RBMK

RBMK nebo LWGR (Light Water Graphite Reactor) je lehkovodní grafitový reaktor. Tento reaktor je moderovaný grafitem s varem v kanálové trubce. Aktivní zóna 1000 MW reaktoru je sestavena z 1693 svislých tlakových kanálků, které jsou rovnoměrně rozmístěné v grafitovém válcovém bloku. Každý tlakový kanál je naplněn 36 palivovými pruty. Velkou výhodou tohoto reaktoru je jednak možnost výměny paliva za provozu, kdy dochází k vyjmutí palivových článků a není tedy zapotřebí odstávky, ale také jednookruhový systém. Pára z reaktoru jde přímo do turbíny a musí se odstínit, ale je tím zajištěna vyšší účinnost. Velkou nevýhodou je ale menší bezpečnost, obzvláště při nesprávném zacházení. Příkladem může být Černobylská elektrárna, která používala stejný typ reaktoru, a díky špatnému zacházení došlo v roce 1986 k havárii, která doznívá doposud. Díky této havárii byla zastavena další výstavba těchto reaktorů.

Základní parametry 1000 MW reaktoru:

- Palivo - mírně obohacený uran ve formě oxidu uranitého ( $\text{UO}_2$ ). Obohacení izotopem  $^{235}\text{U}$  na 1,8% až 2,4%
- Rozměry aktivní zóny - 11,8m průměr x 7m výška
- Tlak nasycené páry v separátorech - 6,9 MPa
- Teplota vody na výstupu z reaktoru - 284°C
- Účinnost elektrárny - 31,3%
- Množství paliva v reaktoru - 192 tun  $\text{UO}_2$

Zdroje: [3] [4]



Obrázek 5. Reaktor RBMK

### 1.1.3 Reaktory moderované těžkou vodou

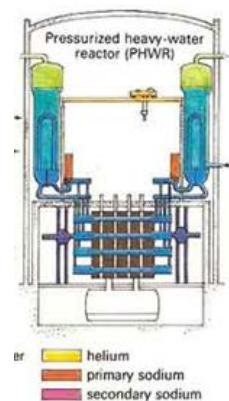
#### CANDU

Reaktor CANDU (Canada Deuterium Uranium, PHWR) je těžkovodní reaktor, který je chlazen a moderován těžkou vodou. Složení aktivní zóny je umístěno v horizontálně položené nádrži, která je z nerezové oceli a jejíž vnitřek je zaplněn těžkou vodou. Výměna paliva probíhá u tohoto reaktoru za provozu a to díky vkládání čerstvé kazety

z jedné strany a vytlačování vyhořelé kazety ze strany druhé. Tento reaktor je Kanadské konstrukce a právě v Kanadě je nejvíce využíván.

Základní parametry 900 MW reaktoru:

- Palivo - přírodní kovový uran
- Rozměry aktivní zóny - 7m průměr x 5,9m délka
- Tlak chladicí těžké vody na výstupu z reaktoru - 9,3 MPa
- Teplota chladicí těžké vody na výstupu z reaktoru - 305°C
- Účinnost elektrárny - 30,1%
- Množství paliva v reaktoru - 117 tun UO<sub>2</sub>
- Teplota těžké vody moderátoru - 30°C



Obrázek 6. Reaktor CANDU

Zdroje: [3] [4]

## HWGCR

Reaktor KS150 typu HWGCR patří mezi těžkovodní reaktory a je moderován těžkou vodou a chlazen oxidem uhličitým. Jako palivo se používá neobohacený (přírodní) uran, který je možné měnit za provozu díky palivu umístěnému v kanálech, což umožňuje vyšší efektivnost elektrárny. Tento typ byl použit v jaderné elektrárně Jaslovské Bohunice, kde došlo ke 2 haváriím, po kterých byla elektrárna odstavena.

Zdroj: [5]

### 1.1.4 Rychlé reaktory bez moderátoru

#### FBR

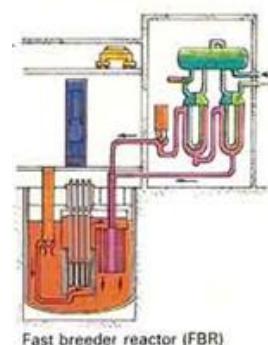
FRB je rychlý množivý reaktor. Palivem je plutonium ve směsi oxidu plutoničitého a uraničitého a kromě palivových článků se do reaktoru vkládají množivé články, které obsahují ochuzený uran 233, který vzniká během provozu z thoriumu 232. Stejně tak štěpitelné plutonium, které je vyrobené rychlými množivými reaktory vzniká během provozu z uranu 238. Tento reaktor nemá moderátor a jeho řízená štěpná reakce probíhá



působením nezpomalených, rychlých neutronů. Jako chladivo je použit sodík. Tento reaktor vyprodukuje během provozu více plutonia, než ho samo spálí a v každém litru objemu tento reaktor uvolní až desetkrát více tepla než u pomalých reaktorů. Tento reaktor je v tří-okruhovém systému. Přes všechny výhody, které zde byly uvedeny, ale nemůže nyní ekonomicky konkurovat ostatním typům reaktorů, hlavně díky levnému uranu. Ve vývoji nejvíce pokročila Francie, kde byl spuštěn tento typ elektrárny o výkonu 1 200 MW.

Základní parametry 1200 MW reaktoru:

- Palivo - oxid plutoničitý ( $\text{PuO}_2$ ) a oxid uraničitý ( $\text{UO}_2$ ). Obohacení paliva plutoniem na 16,6%
- Rozměry aktivní zóny- 3,7m průměr x 1m výška
- Tlak sodíku v reaktoru - 0,25 MPa
- Teplota sodíku na výstupu z reaktoru -  $545^\circ\text{C}$
- Účinnost elektrárny - 42%
- Množství paliva v reaktoru - 31,5 tun směsi  $\text{PuO}_2/\text{UO}_2$

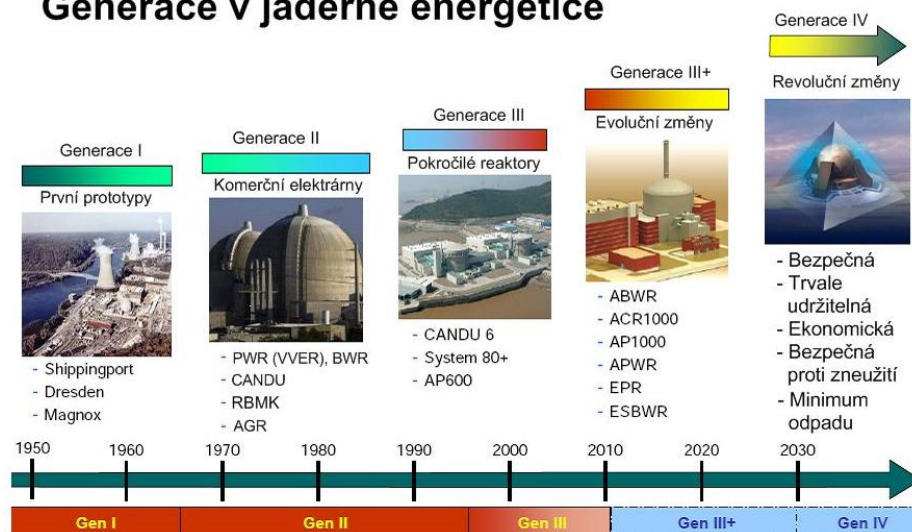


Obrázek 7. Reaktor CANDU

Zdroje: [1] [3] [4]

## 1.2 Jednotlivé generace jaderných reaktorů

### Generace v jaderné energetice



Obrázek 8. Připomenutí jednotlivých generací jaderných reaktorů, dostupný z WWW:

<<http://www.osel.cz/index.php?clanek=3568>>, [cit. 2013-11-05].

Reaktory I. generace: tyto reaktory se stavěly převážně v padesátých a šedesátých letech a jejich hlavním cílem bylo zjistit, zda je možné použití jaderných reaktorů k výrobě elektrické energie. Šlo proto velmi často o prototypy. V dnešní době již žádný z těchto reaktorů nefunguje. Poslední reaktor I. generace byl ve Velké Británii odstaven v roce 2010. Jednalo se o grafitem moderovaný reaktor typu Magnox.

Reaktory II. generace: jedná se o nejvíce využívané reaktory dnešní doby, které navazovaly na zkušenosti s úspěšnými modely I. generace. Začaly se stavět v sedmdesátých letech, a ačkoliv se stavěly v sériích, každá z nich byla jednotlivě projektovaná a konstruovaná. Nejvíce používané jsou lehkovodní tlakové reaktory, mezi které patří i VVER-440 a VVER-1000 sloužící v jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany. Kromě lehkovodních typů se stavěly i těžkovodní a grafitové reaktory.

Reaktory III. generace: jedná se o vylepšené reaktory vycházející z úspěšných modelů reaktorů II. generace. Mají kladen větší důraz na bezpečnost, ekonomiku a spolehlivost. Kromě toho mají také snížené náklady a čas na výstavbu, menší spotřebu paliva a delší životnost (standartní je kolem šedesáti let). K čisté III. generaci lze zařadit 3 typy reaktorů. Reaktor CANDU-6 moderovaný těžkou vodou, s výkonem 750 MWe a prodlouženou životností na 60 let. Systém 80+, což jsou tlakové lehkovodní reaktory

s plutoniem jako palivo a další lehkovodní tlakový reaktor firmy Westinghouse střední velikosti: AP600. Tento reaktor měl dosahovat výkonu 600 MWe, ale nebyl dosud objednáán a firma se soustředila na větší reaktor třídy III+ s označením AP1000.

Reaktory III+ jsou reaktory s vylepšenými pasivními prvky bezpečnosti a to hlavně s automatickým zabezpečením při havárii. Plánované spuštění těchto reaktorů mělo být v roce 2010 a až do roku 2030 by měly být reaktory vybírány z této generace. V EU se nyní staví dva reaktory. Prvním je Finská elektrárna Olkiluoto, která měla být dokončena v roce 2009, ale kvůli problémům s výstavbou byl datum uvedení do provozu posunut až za rok 2014. Druhou rozestavěnou jadernou elektrárnou je Flamanville ve Francii, která měla být spuštěná v roce 2012 a měla stát 3 miliardy eur, ale též kvůli komplikacím je datum spuštění posunut na rok 2016 a tato jaderná elektrárna bude stát 6 miliard eur. Obě tyto elektrárny staví firma Areva, která se též chtěla podílet na dostavbě jaderné elektrárny Temelín. U obou výše zmiňovaných elektráren se jedná o EPR reaktory s výkonem mezi 1600 až 1750 MWe a s palivem využívajícím plutonium z přepracovaného vyhořelého paliva.

Reaktory IV. generace by se měly začít provozovat v roce 2030 a bude se jednat o úplně nové typy reaktorů, které mají umožnit ještě intenzivnější využití jaderné energetiky a zajistit dostatek energie. Cílem bude mimo jiné lepší využitelnost jaderného paliva a menší množství jaderného odpadu. Příkladem může být rychlý reaktor chlazený plynem (GFR), který by jako chladivo používal helium a díky vysoké pracovní teplotě (850°C) by mohl efektivně produkovat vodík, ale hlavně by jako součást paliva spaloval transurany z vyhořelého jaderného paliva, které by se přepracovávalo přímo v areálu elektrárny. Tím by došlo k velkému omezení množství jaderného odpadu a zároveň by se snížil počet a velikost trvalých úložišť radioaktivního odpadu.

Dalším požadavkem na reaktory IV. generace je snížení nákladů na výstavbu a toho by se mohlo dosáhnout i pomocí schvalovacího řízení, které by nemuselo probíhat pro každou stavbu a část znovu a tím by se výrazně ušetřil čas pro projektování, schvalování a výstavbu elektrárny. Dalším důležitým aspektem by bylo prodloužení doby životnosti, které by zajistilo lepší ekonomičnost elektrárny.

Zdroje: [6] [7] [8]

## **2. Využívané jaderné zdroje v ČR**

### **2.1 Historie jaderné energetiky**

Jako první důležitá zmínka z jaderné historie je konec roku 1938, kdy Otto Hahn a Fritz Strassman provedli v Berlíně úspěšný pokus s jaderným štěpením. V následujícím roce začala 2. světová válka a během ní se mnoho vědců začalo zabývat tímto tématem. Dalším důležitým datem je 2. prosince 1942, kdy proběhla první řízená štěpná reakce v jaderném reaktoru CP-1, který byl postaven v Chicagu italským fyzikem Enricem Fermim. Šlo o 6 metrů vysoký blok, který byl sestavený ze 45 000 grafitových briket. Náklady na tento reaktor se vyšplhaly na 2,7 milionů dolarů. CP-1 sloužil k výzkumu dva měsíce a po této době byl rozebrán, přemístěn a po menších úpravách pracoval dále jako CP-2. První jaderná elektrárna, která začala dodávat elektřinu do veřejné sítě, byla uvedena do provozu v roce 1954 v Sovětském svazu v Obninsku u Moskvy. Jednalo se o malou jadernou elektrárnu moderovanou grafitem a chlazenou vodou s elektrickým výkonem 5 MW.

V 50. letech se o jaderné energii hodně mluvilo a v roce 1955 se konala velká konference, které se zúčastnili delegáti z celého světa a jejímž tématem byl rozvoj jaderné energie. O dva roky později, v roce 1957, byla oficiálně založena organizace, která kromě rozvoje jaderné vědy a techniky pro mírové účely měla zabránit zneužití jaderné energie pro vojenské účely. V této době se veřejnost a politici začali o jadernou energii zajímat a byli nadšeni z možných plánů do budoucna, co se využití jaderné energie týkalo. Díky tomu se zlepšil výzkum a vývoj jaderné techniky, se kterou se počítalo i v běžném životě, například reaktory pro pohony letadel, ponorek, automobilů, v kosmu a mnoho dalších projektů, z nichž některé se nikdy neuskutečnily. Postupem času však obliba jaderné energie klesala a to hlavně díky haváriím, které se staly. Šlo například o americkou jadernou elektrárnu Three Mile Island-2 (1979), kde sice nedošlo k žádnému úmrtí ani velké havárii, ale média rozšířila mezi veřejnost, že jaderná energie není bezpečná, nebo havárie čtvrtého bloku Černobylské jaderné elektrárny (1986), která vyvolala mezi veřejností strach a odpor k jaderné energii. Tento odpor trval ještě mnoho let a jaderné elektrárny se již nestavěly v takovém množství, v jakém

se původně předpokládalo. V roce 1980 byl podíl jaderné energie ve světě 16 až 17%. Další rozvoj jaderné energie byl až koncem 20. století, trval až do roku 2011, kdy došlo k havárii ve Fukušimě, díky které se rozhodly některé země od jaderné energie na nějaký čas upustit.

Zdroje: [9] [10]

## **2.2 Historie jaderné energetiky v České republice**

Se zvyšujícím se vlivem jaderných elektráren v minulém století se i Česká republika (dříve Československá republika) rozhodla pro stavbu jaderné elektrárny na území Čech a Moravy.

Jako první začala v roce 1974 výstavba jaderné elektrárny Dukovany, která se nachází 30 km od Třebíče. Kvůli změně projektu se posunula stavba elektrárny až na rok 1978 a první reaktorový blok byl uveden do provozu v roce 1985. Poslední, čtvrtý reaktorový blok, v roce 1987. V jaderné elektrárně Dukovany jsou čtyři tlakovodní reaktory typu VVER 440 a každý blok má výkon 510 MW.

Druhou jadernou elektrárnou na území České republiky je jaderná elektrárna Temelín, která je umístěna v Jižních Čechách poblíž Českých Budějovic. Již v roce 1980 byla schválena výstavba této elektrárny, ale samotná stavba začala až v roce 1987. V roce 1990, v době porevoluční vlády bylo rozhodnuto dokončit pouze dva ze čtyř původně plánovaných bloků a ty byly dostavěny v roce 2000. O dva roky později, v roce 2002, byl zahájen zkušební provoz prvního bloku a o rok později, v roce 2003 byl zahájen provoz druhého bloku jaderné elektrárny Temelín. Reaktory v této jaderné elektrárně jsou typu VVER 1000 a každý z nich pracuje na výkonu 1055 MWe.

Zdroje: [11]

## **2.3 Jaderná elektrárna Dukovany**

„Jaderná elektrárna Dukovany je první provozovanou jadernou elektrárnou v České republice a patří mezi největší, vysoce spolehlivé a ekonomicky výhodné energetické zdroje ČEZ, a. s. Roční výroba elektrické energie se pohybuje okolo 13,5 TWh, což představuje asi 20% z celkové spotřeby elektřiny v České republice. V porovnání s ostatními významnými výrobci vyrábí elektrárna Dukovany elektřinu s nejnižšími měrnými náklady.“[12] Podle světově uznávané soustavy bezpečnostních a výkonnostních provozních indikátorů – WANO, patří elektrárna Dukovany mezi 20% nejlepších jaderných elektráren na světě. Patří také mezi světovou špičku v oblasti neplánovaných výpadků. Díky kvalitě a splnění všech předpokladů pro bezpečný a spolehlivý provoz je aktuální životnost elektrárny 40 let. Pokud však bude elektrárna dál pracovat na technickém a ekonomickém vývoji, tak se dá očekávat prodloužení životnosti až na přibližně 60 let.

Lokalita jaderné elektrárny Dukovany je 30 kilometrů jihovýchodně od Třebíče na území vesnic Lipňany a Skryje, které v důsledku výstavby jaderné elektrárny musely být srovnány se zemí, a její obyvatelé museli být přemístěni do blízkých Dukovan. Poblíž elektrárny bylo vybudováno vodní dílo Dalešice, které je v blízkosti řeky Jihlavy a slouží jako zásobárna vody.

Zdroj: [12]

### **2.3.1 Technologie**

#### **2.3.1.1 Primární okruh**

„Je systém zařízení, který umožňuje získávat tepelnou energii z jaderného paliva prostřednictvím řízené štěpné řetězové reakce, nepřetržitě ji pomocí chladiva odvádět a přeměnit ji na formu tepelné energie využitelné v parní turbíně.“ [12]

#### **Reaktor**

Nejdůležitějším zařízením v primárním okruhu je jaderný reaktor. V jaderné elektrárně Dukovany je tlakovodní reaktor VVER-440 typu 213, což je nejrozšířenější typ

tlakovodního reaktoru v Evropě a Rusku. Reaktor je chlazen i moderován vodou. Tento reaktor nemá ochrannou obálku, ale je vybaven barbotážním systémem, ve kterém by se v případě havárie kondenzovala vzniklá pára. Palivový cyklus v Dukovanech je od roku 2003 pětiletý z původního tříletého cyklu a zlepšení se dosáhlo i u elektrického výkonu, protože každý ze čtyř reaktorů má elektrický výkon 500 MW. Původně byl plánován celkový elektrický výkon 1760 MW. Příčinou zvýšení elektrického výkonu na 2000 MW byly rozsáhlé úpravy a modernizace systému, záměny části turbín, zvýšení kvality jaderného paliva a další.

Zdroj: [13]

### **Oběhové (hlavní cirkulační) čerpadlo**

„Hlavní cirkulační čerpadlo zajišťuje cirkulaci chladiva primárním okruhem v množství odpovídajícímu tepelnému výkonu reaktoru. Konstrukčně se jedná o vertikální odstředivé ucpávkové čerpadlo, poháněné asynchronním elektromotorem.“ [12]

### **Kompenzátor objemu**

„Přestože koeficient objemové teplotní roztažnosti vody je poměrně malý, je třeba při objemu chladiva primárního okruhu několika stovek m<sup>3</sup> již se vzrůstem objemu vlivem teploty počítat. Pokud by totiž nebyl příslušný vzrůst objemu chladiva nějak kompenzován, došlo by při vzrůstu objemu vody k tak velkému mechanickému namáhání zařízení primárního okruhu, že by mohlo dojít k jeho prasknutí a uvolnění chladiva (radioaktivního) do prostoru primárního okruhu. Kompenzátor objemu je vertikální ocelová tlaková nádoba, svou velikostí srovnatelná s tlakovou nádobou reaktoru, připojená potrubím k horké větvi jedné ze smyček primárního okruhu. Kromě kompenzace teplotních objemových změn chladiva slouží kompenzátor objemu i k regulaci tlaku primárního chladiva pomocí vestavěných elektroohříváčů či sprch. Proti překročení přípustné hodnoty tlaku v primárním okruhu je kompenzátor objemu vybaven pojistnými ventily.“ [12]

### **Parogenerátor**

„Tlakový tepelný horizontální výparníkový výměník, ve kterém voda primárního okruhu (v parogenerátoru proudící v tlakových trubkách) předává své teplo vodě sekundárního okruhu. Protože teplota vody okruhu primárního je vyšší než teplota varu

vody sekundárního okruhu (tlak vody v primárním okruhu je totiž více jak dvojnásobný proti tlaku vody či páry sekundárního okruhu), dochází v parogenerátoru k intenzivnímu vývinu páry, která je parovodem vedena na turbínu.“ [12]

### **Potrubí primárního okruhu**

„Nerezové potrubí o průměru 500 milimetrů a síle stěny 32 mm navzájem propojující reaktor, parogenerátor a oběhová čerpadla. Pro snížení tepelných ztrát, ale současně pro umožnění kontroly jeho stavu, je toto potrubí opatřeno tepelnou snímací izolací. Ta část potrubí mezi reaktorem a parogenerátorem, kterým proudí ohřátá voda z reaktoru do parogenerátoru, je nazývána horkou větví, zbývající část potrubí, odvádějící vodu z parogenerátoru přes oběhové čerpadlo do reaktoru, je nazývána studenou větví primárního okruhu.“ [12]

### **2.3.1.2 Sekundární okruh**

„Sekundárním okruhem v jaderné elektrárně je nazýván systém zařízení, který umožňuje přeměnit tepelnou energii páry v mechanickou energii rotoru parní turbíny.“ [12]

### **Turbína a generátor**

„Rotační tepelný motor, v němž se vnitřní energie páry přeměňuje na rotační mechanickou energii rotoru turbíny. U rovnotlakých turbín se tlakový spád páry mění v rozváděcích lopátkách statoru na kinetickou energii páry, která je předávána prostřednictvím oběžných lopatek rotoru. Rotor turbíny je spojen s rotorem generátoru, kde se transformuje kinetická energie rotoru na energii elektrickou.“ [12]

### **Kondenzátor**

„Tepelný výměník, v němž pára po expanzi v turbíně a po ochlazení chladicí vodou kondenzuje. Přiléhá těsně ke spodní části nízkotlakého dílu turbíny. Pára opouštějící turbínu prochází mezi trubkami, jimiž protéká chladicí voda, a na jejich povrchu kondenzuje. Zkondenzovaná pára (kondenzát) je kondenzátními čerpadly přes úpravu kondenzátu, regenerační výměníky a odplynění dopravována do parogenerátoru.“ [12]



### **Nízkotlaké a vysokotlaké regenerační ohříváky**

„Tepelné výměníky, ve kterých pára z neregulovaných regeneračních odběrů turbíny předává své kondenzační teplo kondenzátu nebo napájecí vodě parogenerátoru. V nízkotlakých regeneračních výměnících je kondenzát postupně ohřát na bod varu tak, aby v odplyňovací nádrži mohl být zbaven plynů v něm rozpuštěných. Ve vysokotlakých regeneračních ohřívácích je v odplyňovacích nádržích plynů zbavená napájecí voda zahřátá na teploty blízké bodu varu v parogenerátoru.“ [12]

### **Kondenzátní a napájecí čerpadla**

„Kondenzátní čerpadla slouží k čerpání kondenzátu z kondenzátorů turbín přes nízkotlaké regenerační ohříváky do odplyňovací nádrže. Napájecí čerpadla dopravují napájecí odplyněnou vodu z odplyňovací nádrže přes vysokotlaké regenerační ohříváky do parogenerátoru a současně zvyšují tlak napájecí odplyněné vody na tlak generované páry.“ [12]

#### **2.3.1.3 Kondenzační okruh**

„Úkolem terciálního okruhu je vytvořit v kondenzátoru co největší turbínou využitelný podtlak, aby účinnost turbíny byla co nejvyšší. Čím nižší je teplota chladicí vody v terciálním okruhu, tím vyšší je podtlak v kondenzátoru. U elektráren postavených u moře nebo u velkých řek se nestaví chladicí věže, neboť kondenzátor je možné chladit průtočnou vodou, bez obav o negativní dopad ohřáté vody na vodní ekosystém.“ [12]

### **Chladicí věže**

„Pro elektrárny dominantní, ale přitom subtilní železobetonová stavba ve tvaru rotačního hyperboloidu sloužící k zajištění dostatečného tahu chladicího vzduchu pro chlazení chladicí vody a k uchycení konstrukčních vestaveb zajišťujících rozstřík chladicí vody pro lepší účinnost jejího ochlazování. Část chladicí vody se odpařuje. Skupenské teplo potřebné k odparu je hlavním důvodem snížení teploty chladicí vody. Ve spodní části věže je kruhový bazén, v němž se ochlazená voda shromažďuje a čerpadly chladicí vody je dopravována zpět do kondenzátoru turbín.“ [12]

### **Oběhová čerpadla**

„Odstředivá čerpadla zajišťující cirkulaci chladicí vody mezi kondenzátory turbín a chladicími věžemi.“ [12]

### **Potrubí a kanály chladicí vody**

„Průtok chladicí vody lze přirovnat k průtoku v řece. Jde o potrubí největšího průměru na elektrárně.“ [12]

## **2.4 Jaderná elektrárna Temelín**

### **2.4.1 Lokalita**

Jaderná elektrárna Temelín byla dostavěna v roce 2000 na území jižních Čech, 24 km severně od Českých Budějovic a 5 km jižně od Týna nad Vltavou v nadmořské výšce 510 m n. m. a na pozemku o rozloze 143 ha, z nichž 123 ha je oploceno a celý tento areál patří Skupině ČEZ. Při stavbě tohoto areálu muselo být zlikvidováno několik osad, které se nacházely na tomto území. Jednalo se o osadu Březí, Temelínec, Podhájí, Knín. Dále byla vybudována přehradní nádrž Hněvkovice, která zajišťuje dostatek vody pro chlazení elektrárny. Důvody, které vedly k vybrání místa pro jadernou elektrárnu Temelín v této lokalitě, byly určeny na základě řady bezpečnostních, technických i ekonomických kritérií.

Jedním z bezpečnostních hledisek je to, že Temelín leží v seizmicky klidné a geologicky stabilní oblasti, která se nachází na skalním podloží a mimo geologické zlomy.

Umístění této elektrárny v jižních Čechách má i ekonomické a energetické opodstatnění, protože uhelné elektrárny se nacházejí v severních Čechách a na severní Moravě a umístění jaderné elektrárny v jižních Čechách usnadňuje a zlevňuje přenos elektřiny.

Zdroje: [11] [14] [15]

## 2.4.2 Technické provedení jaderné elektrárny Temelín

### 2.4.2.1 Hlavní stavební objekty

**Budova reaktoru:** Skládá se z hermeticky uzavřeného prostoru, ve kterém se nachází kontejnment a vnitřní konstrukce a z nehermeticky uzavřeného prostoru, ve kterém je umístěna základová část, obestavba a ventilační komín.

**Ochranná obálka - Kontejnment:** jde o bezpečnostní bariéru, která tvoří hranici hermetické zóny. V ní jsou umístěny nejdůležitější části jaderné elektrárny. Jedná se o celý primární okruh a další bezpečnostní a pomocná zařízení. Tato mohutná železobetonová stavba se skládá z válce a kulového vrchlíku. Vysoká je 56 metrů a stěny jsou silné 1,2 metru. Kopule je silná 1,1 metru. Musí také zajišťovat ochranu před pádem letadla, tlakovou vlnou od výbuchu, zemětřesením a dalším vlivům.

**Dieselgenerátorové stanice:** „Pro případ ztráty hlavního i rezervního elektrického napájení vlastní spotřeby elektrárny je elektrárna vybavena nouzovými zdroji elektrické energie. Tyto zdroje jsou schopny elektricky napájet systémy, které jsou důležité z hlediska jaderné bezpečnosti. Každý výrobní blok má tři dieselgenerátory, které jsou umístěné ve dvou nezávislých stavebních objektech. Každý dieselgenerátor je součástí jednoho ze tří zálohovaných a nezávislých bezpečnostních systémů. Každý je schopen vytvořit podmínky pro bezpečné odstavení reaktoru, dochlazení a pro jeho udržení v bezpečném podkritickém stavu. Pro elektrické napájení systémů, které souvisí s jadernou bezpečností a dalších důležitých systémů, slouží další dva navzájem zálohované systémy. Jejich součástí jsou dva dieselgenerátory, které jsou společné pro oba výrobní bloky.“ [11]

**Budova aktivních pomocných provozů:** jedná se o tři objekty, které plní funkce pro oba výrobní bloky. První z objektu slouží k uskladnění čerstvého paliva a k opravám technologického zařízení v primární části jaderné elektrárny. Ve druhém objektu jsou umístěny radiochemické laboratoře a dozorní radiační komory a zároveň tento objekt slouží jako šatny a sprchy pro personál. Poslední objekt zajišťuje čištění radioaktivní vody a systémy na úpravu kapalných a pevných radioaktivních odpadů.

**Mezistrojovna:** „V mezistrojovně je umístěn zejména systém napájecí vody, který zabezpečuje dodávku napájecí vody do parogenerátorů. Jsou zde umístěna turbonapájecí čerpadla a pomocná napájecí čerpadla, která jsou používána při najíždění bloku, při jeho odstavování a udržování v horké rezervě a také pro potřebu dalších zařízení. Mezistrojovna přímo přechází ve strojovnu a je umístěna mezi budovou reaktoru a strojovnou.“ [11]

**Strojovna:** „Ve strojovně se nachází hlavní zařízení sekundárního okruhu. Nejdůležitějším zařízením je turbogenerátor 1000 MW, který se skládá z parní turbíny, elektrického generátoru, budiče a pomocného budiče. Parní turbína je tvořena jedním vysokotlakým a třemi nízkotlakými díly. Po obou stranách turbíny jsou umístěny horizontální separátory - přehříváky páry. Pod každý nízkotlaký díl turbíny je umístěn kondenzátor. K dalším důležitým systémům sekundárního okruhu patří systém kondenzace a regenerace.“ [11]

**Budova ústřední elektrické dozorní:** Zde se nachází informační systém elektrárny, ústřední elektrická dozorní, ze které je řízen provoz elektrozařízení vlastní potřeby a pracoviště směnového inženýra, který řídí provoz elektrárny prostřednictvím směnového personálu.

Zdroj: [11]

#### **2.4.2.2 Reaktor**

V ochranné obálce, v kontejmentu, se nachází nejdůležitější část jaderné elektrárny-reaktor. V jaderné elektrárně Temelín je tlakový reaktor VVER 1000 typu V-320. „V těchto reaktorech je používán mírně obohacený uran ve formě  $\text{UO}_2$ . Tlaková nádoba reaktoru má tvar válce postaveného na výšku s polokulovitým dnem a víkem. Aktivní zóna je v dolní části nádoby.“[14] Reaktor je chlazen i moderován vodou, která má vysoký tlak (okolo 15MPa) a nedochází tak k jejímu varu. Toto má i bezpečnostní charakter, protože když dojde k poruše v primárním okruhu či k varu vody v reaktoru, čímž by došlo ke ztrátě chladiva, dojde zároveň k úniku moderátoru a tím i k utlumení jaderné reakce.

### **Technické parametry reaktoru**

|   |          |
|---|----------|
| Výška tlakové nádoby                    | 10,9 m   |
| Vnitřní průměr tlakové nádoby           | 4,1 m    |
| Vnější průměr tlakové nádoby            | 4,5 m    |
| Celková síla stěny válcové části nádoby | 200 mm   |
| Tloušťka výstelky z austenitické oceli  | 7 mm     |
| Výška horního bloku                     | 8,2 m    |
| Celková výška horního bloku             | 19,1 m   |
| Celková hmotnost                        | Cca 800t |

### **Aktivní zóna reaktoru**

|   |                   |
|---|-------------------|
| Počet palivových kazet                    | 163               |
| Počet palivových proutků v kazetě         | 312               |
| Počet řídících a regulačních svazků       | 61                |
| Počet absorpčních elementů jednoho svazku | 18                |
| Výška aktivní zóny                        | 3,53 m            |
| Průměr aktivní zóny                       | 3,16 m            |
| Obohacení paliva při první zavážce        | 1,3 - 3,8 % U 235 |
| Hmotnost palivové kazety                  | 766 kg            |
| Hmotnost paliva v jedné kazetě            | 563 kg            |
| Vsázka paliva                             | 92 t              |
| Maximální vyhoření paliva                 | 60 MWd/kg         |

## Systém chlazení reaktoru

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Počet chladicích smyček                      | 4                        |
| Pracovní tlak                                | 15,7 MPa                 |
| Teplota chladiva na vstupu do aktivní zóny   | 290 °C                   |
| Teplota na výstupu z aktivní zóny            | 320 °C                   |
| Průtok chladiva reaktorem                    | 84 600 m <sup>3</sup> /h |
| Vnitřní průměr hlavního cirkulačního potrubí | 850 mm                   |
| Vnější průměr hlavního cirkulačního potrubí  | 995 mm                   |
| Zdroj: [11] [16]                             |                          |

### 2.4.2.3 Vyřazení z provozu

Životnost jaderné elektrárny závisí na mnoha aspektech. Původní předpoklad pro životnost Temelína byl 30 let, ale počítá se s delším provozem, až 60 let. O délce provozu bude rozhodovat mnoho věcí, ale jednou z nejdůležitějších bude stav tlakové nádoby reaktoru. Zbýlé části elektrárny lze modernizovat.

Pro jadernou elektrárnu Temelín byly v minulosti zpracovány 3 varianty vyřazování, které jsou seřazeny podle nejpravděpodobnější verze:

- 1) „Vyřazení do II. stupně, tj. konzervace jaderné elektrárny s částečnou demontáží zařízení a zachováním omezeného dozoru (ochranné uložení) a časově odloženou definitivní likvidací.“
- 2) „Vyřazení do I. stupně, tj. konzervace jaderné elektrárny se zachováním dozoru a časově odloženou definitivní likvidací.“
- 3) „Vyřazení do III. stupně, tj. odstranění jaderné elektrárny s následným uvolněním lokality.“ [11]

Zdroje: [11] [17]

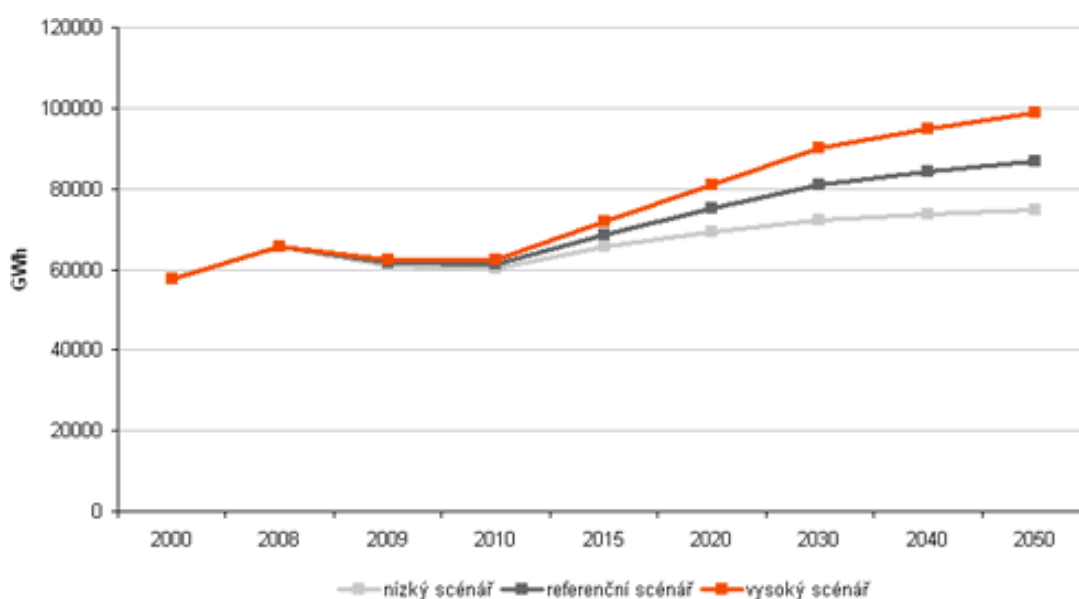
### 3. Nový jaderný zdroj v ČR a v zahraničí

#### 3.1 Nový jaderný zdroj v ČR

##### 3.1.2 Důvody a přínosy

Přínosů, které vedou k tendenci dostavby 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín, je mnoho. Mezi jedny z hlavních patří snižování závislosti České republiky na plynu, ropě a hlavně elektrické energii ze zahraničí. Jelikož v celém světě dochází k nárůstu spotřeby elektrické energie, nemohli bychom se do budoucna spoléhat ani na naše sousedy v případě nákupu elektřiny ze zahraničí. K tomu „potřeba nových energetických kapacit do roku 2030 je v celé Evropě odhadována na 200 tisíc MW, což odpovídá například 200 blokům jaderné elektrárny Temelín.“ [18] Mnoho evropských států stojí nyní také před problémem nahrazování dožívajících elektráren a tak se musí Česká republika snažit získat v tomto ohledu nezávislost a dostatek elektrické energie. Podle aktuálních prognóz již kolem roku 2020 nastane v České republice deficit elektrické energie. Přitom nedostatek elektřiny na trhu povede ke zvýšení její ceny. Proto, pokud chceme mít Českou republiku dále soběstačnou v oblasti výroby elektřiny, je nutné začít s dostatečným předstihem s výstavbou nových výrobních zdrojů.

Zdroj: [18]



Obrázek 9. Spotřeba elektrické energie pro Českou republiku do r. 2050

### 3.1.3 Lokalita

Lokalit pro výběr dostavby dvou jaderných bloků nebylo mnoho. Nejlepší podmínky by měla dostavba již u stávající jaderné elektrárny Temelín a to jak z ekonomického, logistického, technického, tak ekologického hlediska. Původní projekt pro jadernou elektrárnu Temelín počítal se čtyřmi bloky místo stávajících dvou, které jsou postaveny. V průběhu plánování a realizace stavby se rozhodlo o výstavbě pouhých dvou. Díky tomu je daná lokalita již připravena pro dostavbu dalších bloků a to pomocí již existující infrastruktury (železniční, silniční síť) a vodního díla Hněvkovice, které je dostatečně veliké, aby vystačilo na celé čtyři bloky. Nedaleko je rovněž rozvodna Kočín, která se dá upravit pro čtyři bloky místo dvou. Díky těmto předpokladům se bude jednat o nejvýhodnější lokalitu pro dostavbu, která vyjde levněji, rychleji a šetrněji, než kdyby byla vybrána jiná lokalita.

Zdroj: [18]



Obrázek 10. Dostavba jaderné elektrárny Temelín



### 3.1.3 Výstavba

Energetická společnost ČEZ zahájila dne 3. 8. 2009 veřejnou zakázku na výběr dodavatele dvou jaderných bloků pro jadernou elektrárnu Temelín. Tento administrativní proces by měl celkově trvat zhruba 7 až 8 let. Připočteme-li samotnou stavbu jaderné elektrárny, vyjde nám zhruba 15 let, jedná se ale o velmi přibližné číslo. Tento administrativní proces bývá velmi zdoluhavý a náročný i v rámci EU, kde například francouzské jaderné elektrárně Flamanville trval 2,5 roku.

Ke konečnému rozhodnutí o dostavbě jaderné elektrárny Temelín přispěly výsledky komplexní analýzy zpracovávané 2 roky, ve kterých se vyhodnocovaly veškeré varianty – od dovozu černého uhlí po nejoptimističtější varianty rozvoje obnovitelných zdrojů.

Od dostavby jaderné elektrárny Temelín se očekává kratší doba výstavby, delší životnost, méně radioaktivního odpadu a vyšší efektivita provozu oproti již stávajícím jaderným elektrárnám, které jsou součástí II. generace. To vše díky plánované III. či III.+ generaci, která má být postavena. K této dostavbě se přihlásily tři velké firmy, které by chtěly tuto obrovskou zakázku získat. Jsou to:

#### AREVA EPR

Jedná se o francouzskou firmu, která se ucházela o výstavbu 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín s tlakovodním reaktorem EPR. Tento reaktor klade důraz na účinná a jednoduchá bezpečnostní opatření a na vysoký výkon. Jako palivo lze použít obohacený uran na pět procent nebo kombinaci uranu a plutonia. Výstavba tohoto typu jaderného reaktoru probíhá v Flamanville ve Francii, Olkiluoto ve Finsku a Taishan v Číně. Plánovaný elektrický výkon (čistý) je 1600 MWe. Firma AREVA však byla kvůli nevyhovujícím podmínkám ze soutěže o dostavbu jaderné elektrárny Temelín vyřazena, ale nelze s určitostí říci, zda se jedná o konečné řešení. AREVA se odvolala a celá věc je v jednání.

Zdroje: [18] [19]

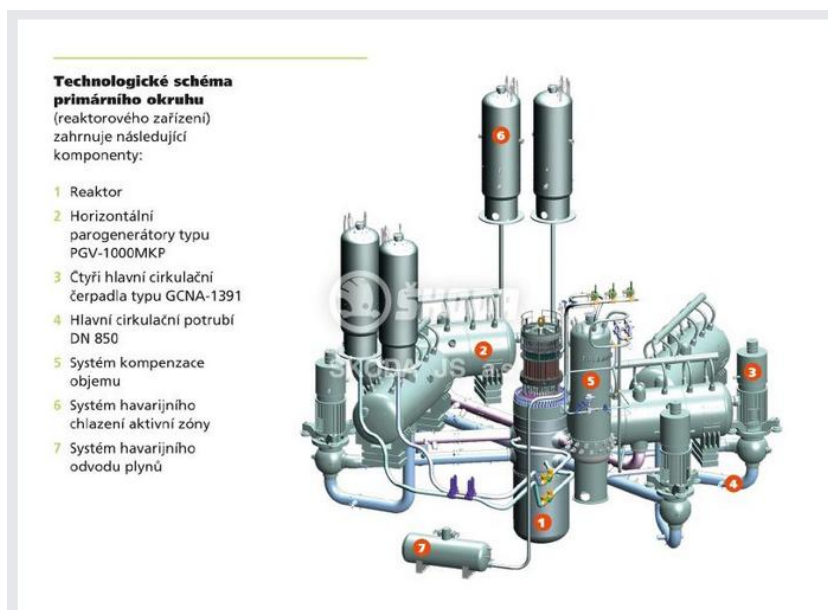
## Konsorcium MIR. 1200

Jedná se o český projekt s ruským know-how, jejímž lídrem je společnost ŠKODA JS a.s. Tento projekt, který počítá s výstavbou 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín, je založený na reaktorech typu VVER, s jejíž technologií má již Česká republika zkušenosti díky Jaderné elektrárně Temelín a Dukovany. Nyní by se však jednalo o reaktory typu VVER generace 3+. Reaktory této generace jsou již postaveny v lokalitách Tianwanu v Číně a Kudankulamu v Indii, i když se jedná o méně výkonné verze. To nese výhodu, že by se u nás v České republice nejednalo o první prototyp tohoto typu. Ohledně výstavby a následného provozu se počítá hlavně s českými dodavateli. Díky tomu se bude moci lépe kontrolovat cena výstavby, následná údržba a servis jaderné elektrárny, což může celkově ovlivnit cenu výstavby a její pravděpodobné navyšování.

Konstrukce reaktorů MIR. 1200, jeho technologie a parametry:

- optimalizované konfigurace bezpečnostních systémů s aktivními a pasivními prvky na principu diverzity (čtyři bezpečnostní řetězce)
- digitální systémy kontroly a řízení
- zvýšené účinnosti turbíny
- vyšší využití paliva
- životnost v délce až 60 let
- plánovaný elektrický výkon (čistý) - 1113 MWe
- integrace sériových a dlouhými zkušenostmi ověřených zařízení
- odstávky na údržbu do 18 dnů
- celkové opravy - jednou za 8 až 10 let a výměna zařízení podle jeho skutečného stavu
- možnost provozu elektrárny za podmínek sledujících zatížení

Zdroje: [18] [20]

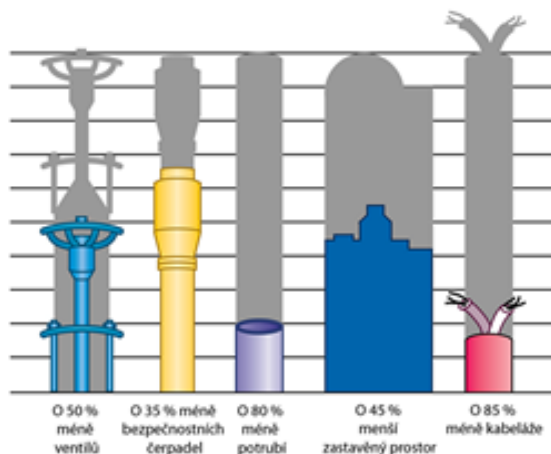


Obrázek 11. Technologické schéma primárního okruhu

## Westinghouse

Jedná se o americko-japonský projekt, který se uchází o dostavbu 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín. Použit chtějí reaktory AP1000 generace 3+. Jedná se o jedny z nejbezpečnějších a nejekonomičtějších jaderných elektráren, avšak žádná jaderná elektrárna s tímto druhem reaktoru ještě nebyla dostavěna, aby se dala ověřit funkčnost a provoz takového jaderné elektrárny v praxi. V současné době probíhá výstavba čtyř bloků v lokalitách Sanmen a Haiyang v Číně a dvou bloků v Americké Georgii. Jedním z hlavních cílů tohoto projektu bylo zjednodušení elektrárny v mnoha ohledech. Výsledkem je kratší doba výstavby, která by měla od vylití prvního betonu až po zavážku paliva trvat 36 měsíců. V porovnání se standardním tlakovodním reaktorem má také:

- o 50 % méně bezpečnostních ventilů,
- o 80 % méně bezpečnostního potrubí,
- o 85 % méně kabeláže pro účely řízení,
- o 35 % méně čerpadel,
- o 45 % menší zastavěný prostor.



Obrázek 12. Úspora materiálu

Konstrukce reaktorů AP1000, jeho technologie a parametry:

- osmnáctiměsíční palivový cyklus vedoucí k vyšší dostupnosti a nižším celkovým nákladům na palivo
- plánovaný elektrický výkon (čistý) - 1117 MWe
- výrazně nižší požadavky na údržbu, montáž lešení, testování a inspekce
- menší vystavení záření a menší množství odpadu z elektrárny
- projekt s garantovanou šedesátiletou životností

Zdroje: [18] [21]

Na začátku výběrového řízení se ucházely o dostavbu jaderné elektrárny Temelín výše zmíněné firmy. Na podzim roku 2012 však byla firma Areva vyřazena z výběrového řízení kvůli nenaplnění zákonných požadavků. Areva se proti tomuto rozhodnutí odvolala a v současné době je tato záležitost u soudu. Výsledek výběrového řízení měl být znám v roce 2013, ale hlavně z těchto důvodů se o výsledku dozvíme koncem roku 2014. Pokud soud rozhodne ve prospěch Arevy, bude znovu zařazena do výběrového řízení a poté by se mohlo stát, že bychom si na firmu, která bude stavět nové dva bloky jaderné elektrárny Temelín, museli počkat. Cena jednotlivých nabídek pro tuto dostavbu může být známa teprve po uzavření kontraktu a do té doby není možné ji jakkoliv specifikovat, i když odhady jsou v rozmezí 200 až 300 miliard korun. Veškeré financování půjde z prostředků ČEZ, a.s. pomocí vlastního kapitálu a bankovních úvěrů.

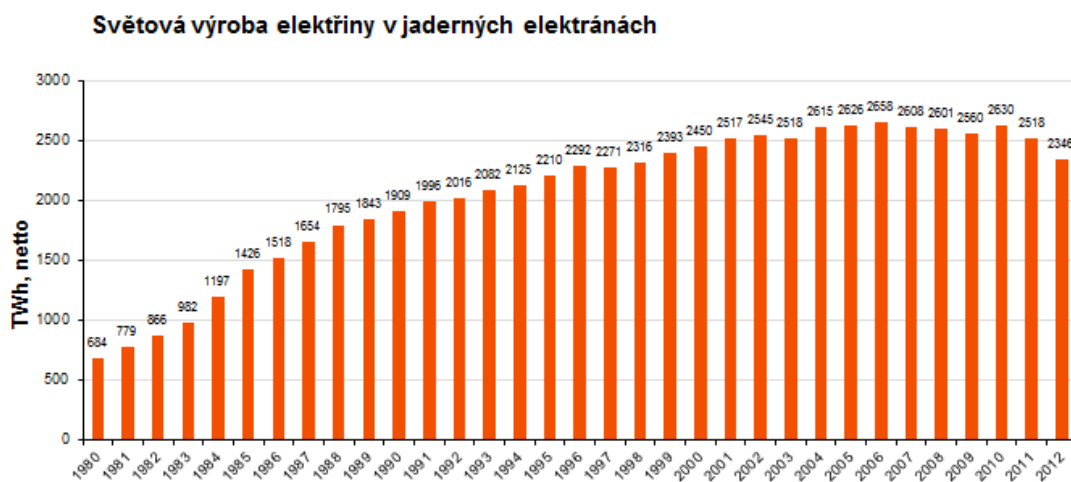
Je tady ovšem ještě jedna zásadní věc, kterou je nutno zmínit. Stále je tady možnost, že k dostavbě jaderné elektrárny Temelín nemusí v těchto letech vůbec dojít. Záviset to bude hlavně na tržních cenách elektřiny a domluvy mezi společností ČEZ, a.s. a státem. Do budoucna nikdo nemůže přesně vědět, jakým směrem se bude cena elektřiny vyvíjet. Proto společnost ČEZ stále vyjednává s vládou o garanci cen elektřiny. Nechce, aby se stalo, že z vlastních prostředků bude financovat celou dostavbu elektrárny, ale do budoucna budou ceny elektřiny pod únosnou hranicí nákladové ceny, což by pro ČEZ mohlo znamenat obrovskou ztrátu. Proto se uvažuje o možných způsobech podpory vyrobené elektřiny z 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín.

Výše zmíněné informace byly aktuální do dubna 2014. V tomto měsíci se jednalo o garancích ceny, ale stávající vláda se rozhodla nepodpořit jaderné elektrárny pevně stanovenou cenou i kvůli fiasku ohledně dotování fotovoltaických elektráren. Dostavba jaderné elektrárny Temelín tak byla definitivně posunuta na dobu neurčitou.

### 3.2 Nový jaderný zdroj v zahraničí

Hrozící problémy ohledně množství vyrobené energie se netýkají jen České republiky, ale i Evropy a celého světa. Na mnoho obnovitelných zdrojů se nedá plně spoléhat (větrné a sluneční elektrárny), jiné mají svá omezení (vodní elektrárny, které například v České republice nemohou být již více rozšiřovány). Na uhelné elektrárny se rovněž nedá do budoucna spoléhat jako na perspektivní zdroj energie, jelikož zásoby uhlí se neustále zmenšují. Mnoho zemí se proto snaží zaměřit na jaderné elektrárny a i do budoucna se počítá s jejich větším nasazením co do poměru k ostatním zdrojům elektrické energie. „K 1. únoru 2014 bylo ve 30 státech světa podle statistik WNA (World Nuclear Association – Světová jaderná asociace) v provozu 434 jaderných reaktorů s celkovou instalovanou kapacitou 374 335 MW, přičemž nejvíce jaderných zdrojů stojí v USA (100), ve Francii (58), Japonsku (48), Rusku (33), Jižní Koreji (23), Indii (21), Číně (20), Kanadě (19) a Velké Británii (16). Celosvětově tyto reaktory vyrábějí asi 13 % světové elektřiny. Ve výstavbě je jich 70 ve 14 zemích. Plánuje se výstavba 173 reaktorů. Celkem se ve světě předběžně uvažuje o vybudování dalších 310 reaktorů, jejichž instalovaný výkon by měl dosáhnout asi 350 000 MW.“ [22]

Zdroj: [22]



Obrázek 13. Světová výroba elektřiny v jaderných elektrárnách

### 3.2.1 Výstavba jaderných elektráren v Evropě

#### Bělorusko

Na severozápadě Běloruska poblíž města Ostrovec byla 6. listopadu 2013 zahájena výstavba jaderné elektrárny. Jedná se o první jadernou elektrárnu na území Běloruska. “Generálním projektantem a dodavatelem stavby je společnost NIAEP - Atomstrojexport, která je také členem konsorcia MIR 1200 v tendru na dostavbu JE Temelín., [23] Půjde o dva bloky o celkovém výkonu až 2400MW typu VVER 1200, přičemž podle původního plánu má být první blok uveden do provozu v roce 2018 a druhý v roce 2020.

Zdroj: [23]

#### Finsko

Jedná se o jadernou elektrárnu Olkiluoto, kterou staví firma Areva. Tato elektrárna bude používat reaktor EPR s výkonem mezi 1600 až 1750 MWe, které měly být připojeny k síti již v roce 2009, ale stavba elektrárny nabrala obrovské zpoždění, které může znamenat dokončení až v roce 2018 či dokonce v roce 2020. Tato elektrárna se přitom staví již od roku 2005. Podle aktuálního dění (zveřejněno 5. 3. 2014), firma Areva neprodloužila smlouvy hlavním vedoucím pracovníkům, což povede k dalším sporům a prodloužení výstavby. Zároveň se vedou spory o zaplacení vyšších výdajů na výstavbu, které měly být původně mezi 3 až 3,5 miliardami eur, kdežto poslední odhady kolísají mezi 6 až 8,5 miliardami eur.

Zdroj: [24]

#### Francie

Jedná se o francouzskou jadernou elektrárnu Flamanville, která je stejně jako finská jaderná elektrárna Olkiluoto stavěna firmou Areva a bude používat reaktor EPR o výkonu 1600 až 1750 MWe. Tato elektrárna měla být spuštěna v roce 2012, ale datum spuštění byl také posunut a to až na rok 2016. Ačkoli nejsou s touto elektrárnou takové problémy jako ve Finsku, také zde došlo ke zdražení z původních 3 miliard eur na odhadovaných 6 miliard eur.

Zdroj: [6]

## Slovensko

Ve slovenských Mohovcích se staví 3. a 4. blok jaderné elektrárny, kterou staví italská firma Enel. Původně měla stát výstavba 2,8 miliard eur. Aktuálně se hovoří o částce 3,8 miliard eur. Též došlo i k posunutí termínu dokončení stavby na rok 2015. Reaktor, který bude použit, je VVER440 s výkonem 440 MWe.

Zdroje: [25] [26]

Další evropskou zemí, ve které probíhá v současné době výstavba, je Rusko. Plánovaná výstavba jaderných elektráren na území Evropy je v Bulharsku, České republice, Francii, Litvě, Maďarsku, Polsku, Rumunsku, Rusku, Ukrajině a Spojeném království.

### 3.2.2 Výstavba jaderných elektráren ve světě

#### Čína

V Číně se v současné době staví několik jaderných elektráren. Je to velká země, která zároveň podporuje jadernou energetiku a plánuje do budoucna výstavbu 27 jaderných reaktorů. Jedna z jaderných elektráren, které jsou zrovna ve výstavbě, je Tianwan, která leží ve městě Lianyungangu. Jedná se o čínsko – ruský projekt. 1. a 2. blok disponuje reaktorem VVER-1000 o výkonu 1060 MW, který byl připojen v září roku 2009. 3. a 4. blok, který má také reaktor typu VVER 1000 o výkonu 1060 MW, bude podle původního plánu připojen v roce 2018.

Mezi další jadernou elektrárnu, která je ve výstavbě, patří Š'-tao Bay. Nachází se v provincii Šan-tung ve východní Číně. Její očekávané připojení na síť je koncem roku 2017 a její kapacita je 6600 megawattů, což z ní činí jednu z největších jaderných elektráren.

Zdroje: [27] [28] [29]

#### Japonsko

V roce 2008 byla zahájena stavba japonské jaderné elektrárny Oma, která měla být dokončena v roce 2014, ale z důvodu nehody ve Fukušimě byly zastaveny všechny práce na rozestavěných japonských jaderných elektrárnách. U této elektrárny trvalo zastavení stavby až do roku 2012 (do té doby bylo postaveno zhruba 40% elektrárny),

kdy bylo dovoleno pokračovat ve výstavbě, ale až po změně japonské energetické strategie a po souhlasu okolního obyvatelstva. Zároveň se vylepšila bezpečnost a řada bezpečnostních opatření, jako reakce na fukušimskou havárii. V jaderné elektrárně Oma se staví reaktor typu ABWR o celkovém výkonu 1383 MWe.

Zdroj: [30]

„V současnosti se ve světě staví nové jaderné elektrárny především v Číně, Indii, Ruské federaci, Kanadě, Japonsku a Jižní Koreji. V USA jsou licencovány nové typy reaktorů a vydána předběžná povolení na stavbu nových jaderných elektráren pro celkem 4 lokality. Ke konci roku 2007 mělo prodlouženou provozní licenci o dalších 20 let (na celkovou životnost jaderné elektrárny 60 roků) cca polovina ze 104 jaderných energetických bloků v USA a druhá polovina je v různém stádiu posuzování. Toto posuzování trvá v současnosti v USA 22 měsíců (původně 36 měsíců) a provádí jej státní jaderný úřad **NRC**. V současnosti se začíná připravovat i další prodloužení provozní licence na celkových 80 roků, vzhledem k velmi dobrému stavu materiálů tlakových nádob reaktorů, které jsou v této oblasti limitujícím prvkem.“ [18]

Zdroj: [18]



## 4. Náklady výroby elektřiny v JE a užívané způsoby podpory

Při stavbě jakékoliv jaderné elektrárny se musí pečlivě zvažovat, zda se její stavba a provoz vyplatí. Je to časově velmi náročný projekt, ať už jde o rozhodování mezi tím postavit či nepostavit, vypracování odpovídajícího projektu na celou jadernou elektrárnu, zrealizování a zprovoznění, několik desítek let řádného provozu a následné co nejšetrnější zlikvidování. Kromě časového hlediska ale mnohem více rozhodují finanční náklady stavby. Zde hraje hlavní roli cena výstavby jaderné elektrárny, celkové náklady během provozu i výkup ceny elektřiny na trhu nebo případná garance ceny. V tomto 4. bodě bakalářské práce mám za úkol spočítat právě výše zmíněné celkové náklady na výrobu elektřiny v jaderné elektrárně.

Jelikož ve 3. bodě bakalářské práce byla část věnována novému jadernému zdroji v České republice, rozhodl jsem se při počítání celkových nákladů co nejvíce přiblížit právě dostavbě jaderné elektrárny Temelín. Hodnoty, ze kterých jsem vycházel, jsou ovšem jen přibližná čísla či odhady, protože v současné době není možné kvůli obchodnímu tajemství zjistit přesnou cenu.

Ve svém výpočtu jsem vycházel z typu elektrárny, která již v České republice funguje - typ jaderné elektrárny Temelín a Dukovany. Jedná se o reaktor typu VVER s instalovaným výkonem cca 1000MW na jeden blok. Jelikož se počítá s dostavbou 3. a 4. bloku, bude se jednat o výkon cca 2x1000MW. V úvahu jsem bral 18 - ti měsíční cyklus, při kterém je roční provoz 7920 hodin. Tento údaj je brán s ohledem na 32 denní odstávku s 1% rezervou, což dělá 330 dní provozu za rok, vynásobeno 24 hodinami. Když tento údaj vynásobíme celkovým výkonem jaderné elektrárny, dostaneme 15,84 TWh za rok. Jako začátek výstavby jsem vzal aktuální rok 2014, i když dostavba jaderné elektrárny Temelín proběhne o několik let později. Samotná stavba jaderné elektrárny bude trvat minimálně 5 let a doba následného provozu je projektována na 60 let. Je třeba také započítat zkušební provoz, který bývá u takovýchto projektů 2 roky a dodavatel je po tuto dobu povinen garantovat různé provozní parametry nového zdroje. Ve svém výpočtu však počítám s ročním zkušebním provozem, během něhož jsou již započítávány náklady na palivo a údržbu. Často jsem musel přepočítávat finance v různých měnách, konkrétně dolaru a eura. Kurzy, které jsem k těmto převodům použil, byly aktuální ke dni 30. 3. 2014 v kurzu 27,4 korun za euro a 19,9 korun za

dolar. Inflace, kterou jsem použil pro určení budoucí hodnoty peněz, je 2%. Případný vývoj kurzů v čase je obtížně predikovatelný, proto pro účely mého zadání stačí vzít fixní kurzy.

Zdroj: [31]

Při určování nákladů na výstavbu jsem bral v úvahu možnou cenu dostavby jaderné elektrárny Temelín. Odhad této ceny je mezi 200 až 300 miliardami korun. Kvůli zkušenostem se současnou výstavbou francouzské a finské jaderné elektrárny, kde se cena za stavbu jaderné elektrárny velice zvýšila, jsem vzal v úvahu horní hranici 300 miliard korun.

Zdroje: [32] [33]

Při samotném provozu jsou velmi důležité provozní (OPEX) náklady na údržbu a chod celé jaderné elektrárny. Jsou v nich mimo jiné zahrnuty náklady spojené s pracovní silou, dodávkami materiálu, dodavatelskými službami, licenčními poplatky a také náklady zaměstnanců a regulační poplatky. V roce 2012 činily tyto provozní náklady 1,65 centů/kWh, což je 0,33 Kč/kWh.

Zdroj: [34] [39]

Dalším nákladem je palivo a jeho cena. Ta je složena z několika částí.

|                            |             |           |
|----------------------------|-------------|-----------|
| Uranová ruda a její úprava | 1160 dolarů | 23 084 Kč |
| Konverze na UF6            | 83 dolarů   | 1 652 Kč  |
| Obohacení                  | 880 dolarů  | 17 512 Kč |
| Výroba paliva              | 240 dolarů  | 4 776 Kč  |
| Celková cena za 1kg paliva | 2360 dolarů | 46 964 Kč |

Tabulka 2. Cena palivového souboru vztažená na 1 kg

Musí se však brát v úvahu spotřeba jaderného paliva v závislosti na cyklu jaderné elektrárny. Běžně se jedná o 12- ti měsíční cyklus, 16- ti měsíční cyklus nebo 18- ti měsíční cyklus. Jelikož všechny tři firmy, které se ucházejí o dostavbu jaderné elektrárny Temelín, uvádějí 18- ti měsíční cyklus výměny jaderného paliva, rozhodl jsem se pro něj také. Cena paliva právě pro tento cyklus je 1 621 963 080 Kč za rok.

Zdroj: [36]

Posledním hlavním nákladem je likvidace jaderné elektrárny a její demontáž. Jedná se o náklad, který nastane až po skončení životnosti jaderné elektrárny. Jak už bylo popsáno v bodě 2 v části jaderné elektrárny v ČR, bude se jednat o jednu ze tří možností jak zařídit likvidaci jaderné elektrárny. Protože jde o částku, která bude vynaložena za několik desítek let, vychází se z toho, že peníze na následnou likvidaci budou postupně vkládány a zhodnocovány v průběhu celého provozu jaderné elektrárny. Tato částka je v danou chvíli 13,93 miliard Kč. Počítám-li s 2% inflací, tak za 66 let, po pěti letech výstavby, ročním zkušebním provozu a šedesáti letech provozu se bude cena pohybovat na úrovni 50,462 miliard Kč. Dá se ovšem předpokládat, že částka v tomto povinném (atomovém) účtu nebude stačit na demontáž všech zdrojů. Proto je na místě počítat s vyššími náklady. Ty ovšem vzniknou až na samém konci životnosti nového zdroje. Současná částka je složena ze tří částí.

Na radiaci – 5, 970 miliard Kč

Náklady na obnovu – 5,970 miliard Kč

Uložení paliva – 1, 990 miliard Kč

Zdroj: [34]

Abych určil částku, kterou bude nutno vkládat každý rok, vycházel jsem z předpokladu, že peníze budou vkládány na fond s úrokem 5% po dobu šedesáti let. Přes vzorec střadatele jsem spočetl, že roční vkládaná částka je 142,717 miliónů Kč. Celková částka, kterou bude tedy nutné vložit do likvidace jaderné elektrárny, je 8,563 miliard Kč. Úrok, se kterým jsem počítal, se může zdát příliš vysoký, přesto ne nereálný. Pro porovnání, kdyby se počítalo s úrokem 3%, vyšla by roční vkládaná částka na 309,479 miliónů Kč a celkově vložená částka 18,569 miliard Kč.

Výpočet pro roční vklad:

$$\text{Střadatel: } S^+ = \frac{(1+r)^t - 1}{(1+r) - 1}; \text{ kde } q = (1+r) \rightarrow S^+ = \frac{q^t - 1}{q - 1}$$

$r$  = roční úroková míra = 5%

$t$  = čas = 60

$$S^+ = \frac{1,05^{60} - 1}{1,05 - 1}$$

$$S^+ = 353,58$$

$$\text{roční vklad} = \frac{50\,461\,746\,896}{353,58} = 142\,716\,632 \text{ korun/rok}$$

Jestliže chci získat celkové náklady výroby elektřiny v jaderné elektrárně, musím pro všechny tyto jednotlivé náklady vzít v úvahu celou životnost a provoz jaderné elektrárny. Výsledné částky budou představovat budoucí nediskontované hodnoty. Celková částka vložená na likvidaci jaderné elektrárny je již vypočítána. Další náklad, který je třeba dopočítat, je palivo a jeho cena. Pokud roční náklad činí 1,622 miliardy, tak při započtení inflace 2% a délky používání paliva 61 let (1 rok zkušební doba provozu a 60 let provozu), vychází výsledná částka 210,217 miliard Kč.

Poslední složkou nákladů je údržba a chod jaderné elektrárny. Při ceně 0,33 Kč/kWh je třeba zjistit, kolik korun stojí roční údržba. Protože vycházím z 18-ti měsíčního cyklu, беру v úvahu roční provoz 7920 hodin a tedy 15,84 TWh za rok. Po přepočtení na kWh a vynásobení nákladovou cenou dostanu výslednou částku, která dělá 5,974 miliard Kč/rok. Po opětovném rozpočítání na délku provozu jaderné elektrárny a započtení inflace vyjde částka 700,990 miliard Kč, která vyjadřuje celkové provozní náklady vynaložené za 61 let provozu jaderné elektrárny.

Zdroje: [37] [38]

Po sečtení všech nákladových složek dostaneme částku 1 219,670 miliard Kč, vyjadřující veškeré mnou uváděné náklady na výrobu elektřiny od výstavby, chodu až po následnou likvidaci jaderné elektrárny.

Další částí, kterou jsem počítal, byly výnosy a zisky jaderné elektrárny v závislosti na výkupní ceně elektřiny. Protože není možné odhadnout, jak se bude cena v následujících letech a desetiletích vyvíjet, uvažoval jsem jen s variantou garance cen od státu. Ta by se mohla pohybovat v rozmezí 60 až 80 Eur/ MWh, což je garantovaná cena, kterou bychom při dostavbě jaderné elektrárny Temelín mohli vzít v úvahu. Nejpravděpodobněji se jeví cena 70 Eur/MWh a proto jsem vycházel hlavně z této částky. Aktuální cena elektřiny se pohybuje kolem 40 Eur/MWh, což znamená garanci v téměř dvojnásobné ceně.

Ke spočtení ročního příjmu stačí vzít v úvahu pouze cenu elektřiny a vynásobit ji ročním provozem jaderné elektrárny. Při uvažování 70 Eur/MWh dostanu 30,381 miliard Kč za rok. Pro porovnání, při ceně elektřiny 40 Eur/MWh dostaneme 17,361 miliard Kč a při horní hranici 80 Eur/MWh to bude činit 34,721 miliard Kč - viz 3. tabulka. Roční příjem v horizontu celého provozu jaderné elektrárny jsem uvažoval ve stejné výši, nezatížený inflací. Je to z důvodu, že není možné zjistit vývoj ceny elektřiny do budoucna ani budoucí vývoj dohody při garantované ceně výkupu elektřiny.

Zisk před zdaněním je pouze odečtením ročního výnosu minus roční náklad. Co se týká daně ze zisku, ta ve výpočtech není brána v úvahu. Vycházím z toho, že garantovat ceny výkupu elektřiny bude stát, a proto při započítání daní by bylo nutné zvolit jinou (vyšší) výkupní cenu elektřiny. Peníze vybrané na daních by šly do státní kasy.

Když rozložíme zisk do celé délky provozu a sečteme jej za všechny roky, dostaneme výslednou částku, značící celkový zisk jaderné elektrárny. Jedná se ovšem jen o údaj pro porovnání, na který se nemusí klást velký důraz. V přiložené příloze je potom při pohledu na jednotlivé roky patrný zisk v jednotlivých letech. Při ceně 40 Eur/MWh je vidět, že v průběhu provozu nastane zlom, kdy z kladných hodnot přejdeme do záporných, což znamená, že náklady jaderné elektrárny jsou větší než její výnos a z celkového hlediska se investice do jaderné elektrárny nevyplatí.

| Výkupní cena elektřiny          |               |                       |               |                               |               |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| Eur/MWh                         | Kč/MWh        | Eur/MWh               | Kč/MWh        | Eur/MWh                       | Kč/MWh        |
| 70                              | 1918          | 80                    | 2192          | 40                            | 1108          |
| Roční výnos jaderné elektrárny  |               |                       |               |                               |               |
| miliard eur                     | miliard korun | miliard eur           | miliard korun | miliard eur                   | miliard korun |
| 1,109                           | 30,381        | 1,267                 | 34,721        | 0,634                         | 17,361        |
| Celkový zisk jaderné elektrárny |               |                       |               |                               |               |
| miliard eur                     | miliard korun | miliard eur           | miliard korun | miliard eur                   | miliard korun |
| 22,021                          | 603,365       | 31,525                | 863,775       | -6,491                        | -177,863      |
| NPV                             |               |                       |               |                               |               |
| 30 462 361 941,88 Kč            |               | 108 706 309 775,34 Kč |               | <b>-204 269 481 558,49 Kč</b> |               |

Tabulka 3. Výkupní cena, roční výnos, celkový zisk jaderné elektrárny a jejich NPV. Tabulka vytvořena.

Chtěl jsem také zjistit, za jakou výkupní cenu by se rovnala čistá současná hodnota (NPV) nule. K tomuto údaji je nutné určit si požadovaný diskont. Protože jednou z variant by byla garantovaná výkupní cena od státu, zvolil jsem výši diskontu 5%. Jednalo by se o závazek dlouhý několik desítek let a stát v tomto případě vystupuje jako důvěryhodný a spolehlivý garant, proto je možné zvolit menší hodnotu diskontu. K tomu, abych mohl spočítat cenu elektřiny, při které by se výnos rovnal 5%, je nutné vypočítat čistou současnou hodnotu (NPV). Tu vezmeme ze sumy hotovostních toků (v našem případě z celkového zisku) a vydělíme ji diskontovanou hodnotou umocněnou na čas, dle vzorce:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^n}$$

Kde

CF = peněžní tok

i = úroková míra

n = počet let

Pro zjištění hodnoty  $NPV = 0$  jsem použil v programu Excel funkci Řešitel, díky které mi vyšla požadovaná hodnota, která je rovna částce 66 Eur/MWh přepočteno na 1811 Kč/MWh, viz tabulka:

| Výkupní cena elektřiny          |            |
|---------------------------------|------------|
| Eur/MWh                         | Kč/MWh     |
| 66                              | 1811       |
| Roční výnos jaderné elektrárny  |            |
| miliard eur                     | miliard Kč |
| 1,047                           | 28,691     |
| Celkový zisk jaderné elektrárny |            |
| miliard eur                     | miliard Kč |
| 18,314                          | 501,813    |

**Tabulka 4.** Výkupní cena, roční výnos a celkový zisk jaderné elektrárny pro  $NPV=0$ . Tabulka vytvořena.

Při výkupní ceně elektřiny, která je rovna 66 Eur/MWh nám při diskontu 5% vyjde naše investice dle očekávání a jadernou elektrárnu můžeme postavit. Jakákoliv vyšší výkupní cena nám pouze zvýší celkový zisk. Pokud by byla domluvena nižší cena než je oněch 66 Eur/MWh, stavba jaderné elektrárny se nám z ekonomického hlediska nevyplatí.

Veškeré výpočty a údaje, které byly použity pro tyto výsledné hodnoty, jsou k nalezení ve vložené příloze a v programu Excel na přiloženém CD.

## **Závěr**

Cílem této bakalářské práce bylo zpracovat čtyři zadané body osnovy. V prvních dvou bodech šlo hlavně o ucelený přehled jaderných elektráren a seznámení se s nimi. V prvním bodě s názvem Přehled současných typů jaderných zdrojů jsou uvedeny základní druhy jaderných reaktorů, jejich obecné a technické parametry, jejich porovnání, výhody a časové uplatnění. Jde o první typy jaderných reaktorů, které se v současné době již nepoužívají, až po v dnešní a budoucí době používané jaderné reaktory. Druhý bod s názvem Využívané jaderné zdroje v ČR podrobněji popisuje Jadernou elektrárnu Temelín a Dukovany, jejich historii, konstrukci a technické parametry. Jelikož se ale jedná o podobné jaderné elektrárny co do typu reaktoru a jejich konstrukce, je každá z nich popisována trochu odlišným způsobem. Jaderná elektrárna Temelín je popsána více z vnějšího pohledu hlavních stavebních objektů a jaderná elektrárna Dukovany z pohledu jednotlivých okruhů.

Třetí bod, který nese název Nový jaderný zdroj v ČR a v zahraničí popisuje v první části možnou dostavbu 3. a 4. bloku jaderné elektrárny Temelín, důvody, které pro tuto dostavbu vedou a firmy, které se o tento projekt ucházejí. Druhá část je věnována dostavbě jaderných elektráren v zahraničí a je zde vybráno několik zemí, ve kterých výstavba nyní probíhá a ve kterých se s ní v nejbližší době počítá.

Poslední bod s názvem Náklady výroby elektřiny v JE a užívané způsoby podpory se zabývá hlavně výpočtem nákladů výroby elektřiny. V těchto nákladech se berou v potaz kapitálové CAPEX náklady a provozní OPEX náklady. V provozních nákladech jde o údržbu, palivo a likvidaci jaderné elektrárny. Při sečtení všech nákladů a přičtení inflace pro jednotlivé roky vyšla cena 1219,670 miliard Kč, což vyjadřuje celkové, nediskontované náklady za celou životnost jaderné elektrárny. Příjmy, tedy garantovaná cena pro výkup elektřiny je různá, podle variant, kterou jsem zvolil - 70 Eur/MWh, 40 Eur/MWh a 80 Eur/MWh. Zisk, který byl poté vypočítán, ukázal výhodnost jaderné elektrárny pro jednotlivé garantované ceny. Jedná se však o nezdaněný zisk. Ten jsem nedanil z důvodu, že čím nižší zisk by byl kvůli dani, tím vyšší garantovaná cena by pravděpodobně musela být. Ať už jde o jakoukoliv variantu ceny elektřiny, zisk v jednotlivých letech klesá. To je způsobeno nákladovou položkou, u které je započítána inflace, a proto náklady za celou dobu provozu jaderné elektrárny velmi



vzrostou. Oproti tomu jsem vycházel ze stejného ročního příjmu pro celé období provozu jaderné elektrárny, kvůli pevné garantované ceně výkupu elektřiny.

Pro mé výpočty sloužila hlavně garantovaná cena 70 Eur/MWh, kterou jsem zvolil jako optimální pro případnou dohodu o ceně výkupu elektřiny. Z této částky bylo patrné, že výstavba jaderné elektrárny se vyplatí. Pro částku 40 Eur/MWh jsem však již zjistil, že investice v podobě jaderné elektrárny se nevyplatí a za tuto cenu není vhodné výstavbu provést. Pomocí čisté současné hodnoty jsem chtěl tedy najít optimální cenu, za kterou by se ještě výstavba jaderné elektrárny vyplatila. Při zvoleném diskontu 5% mi vyšla cena 66 Eur/MWh. Tato částka tedy tvoří nejnižší možnou hranici pro garantování výkupní ceny elektřiny.

## **Zdroje:**

[1] Rychlé množivé reaktory

Dostupné z WWW:

<[http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/rychlreakt\\_8.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/rychlreakt_8.html)>, [cit. 2013-10-5].

[2] Energetické zdroje naší planety a jejich využití

Dostupné z:

WWW:<[http://cs.wikibooks.org/wiki/Energetick%C3%A9\\_zdroje\\_na%C5%A1%C3%AD\\_planety\\_a\\_jejich\\_vyu%C5%BEit%C3%AD](http://cs.wikibooks.org/wiki/Energetick%C3%A9_zdroje_na%C5%A1%C3%AD_planety_a_jejich_vyu%C5%BEit%C3%AD)>, [cit. 2013-10-5].

[3] Typy jaderných reaktorů

Dostupné z WWW: <<http://www.jaderna-energie.cz/jaderny-reaktor-typy.htm>>, [cit. 2013-10-10].

[4] Jaderné elektrárny, seznam jaderných elektráren. Typy reaktorů

Dostupné z WWW: <<http://proatom.luksoft.cz/jaderneelektrarny/typyreaktoru>>, [cit. 2013-10-15].

[5] Na Slovensku dostaví dva reaktory

Dostupné z WWW:

<<http://www.dukovany.cz/na-slovensku-dostavi-dva-reaktory.html>>, [cit. 2013-10-22].

[6] Reaktory III. generace

Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=3531>>, [cit. 2013-10-29].

[7] Reaktory IV. generace

Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=3568>>, [cit. 2013-10-29].

[8] Finsko Olkiluoto 3- termín dokončení stavby opět posunut

Dostupné z WWW: <<http://oizp.cz/?p=4689&lang=cz>>, [cit. 2013-10-29].

[9] Z historie jaderné fyziky

Dostupné z WWW: < <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/obsah.htm>>, [cit. 2013-11-01].

[10] Outline history of Nuclear Energy

Dostupné z WWW: <<http://world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Outline-History-of-Nuclear-Energy/#.UnehbxDM502>>, [cit. 2013-11-01].

[11] Jaderné elektrárny ČEZ

Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez.html>>, [cit. 2013-11-15].

[12] Jaderná elektrárna Dukovany- technologie a bezpečnost

Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html>>, [cit. 2013-12-6].

[13] Velká rekonstrukce ukončena: Dukovany 4 x 500 MW

Dostupné z WWW: < <http://www.aktivnizona.cz/cs/clanky/velka-rekonstrukce-ukoncena-dukovany-4-x-500-mw-129.html>>, [cit. 2013-12-6].

[14] Jaderné informace - Temelín

Dostupné z WWW: <<http://jaderneinfo.webnode.cz/news/temelin/>>, [cit. 2013-11-15].

[15] Zaniklé Podhájí

Dostupné z WWW: <<http://www.zaniklepodhaji.cz/>>, [cit. 2013-11-15].

[16] Reaktor VVER

Dostupné z WWW: < <http://jaderneinfo.webnode.cz/news/vver/>>, [cit. 2013-11-20].

[17] Fakta a mýty o jaderné energetice

Dostupné z WWW: <<http://www.ujv.cz/web/ujv/fakta-a-myty-o-jaderne-energetice/>>, [cit. 2013-11-20].

[18] Dostavba jaderné elektrárny Temelín

Dostupné z WWW: < <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/zvazovana-dostavba-elektrarny-temelin.html>>, [cit. 2014-03-1].

[19] Reaktor EPR

Dostupné z WWW: < <http://cz.aveva.com/CZ/home-92/reaktor-epr-pehled.html>>, [cit. 2014-03-1].

[20] Konsorcium MIR. 1200

Dostupné z WWW: < <http://www.skoda-js.cz/cs/mir-1200/index.shtml>>, [cit. 2014-03-1].

[21] Westinghouse AP1000

Dostupné z WWW: < zdroj: <http://ap1000.westinghousenuclear.cz/>>, [cit. 2014-03-2].

[22] Energetika ve světě

Dostupné z WWW: < <http://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html> >, [cit. 2014-03-3].

[23] Dostavba běloruské jaderné elektrárny

Dostupné z WWW: < <http://www.protext.cz/zprava.php?id=19697>>, [cit. 2014-03-5].

[24] Areva zastavuje výstavbu jaderné elektrárny Olkiluoto

Dostupné z WWW: < <http://energetika.tzb-info.cz/114021-areva-zastavuje-vystavbu-jaderne-elektrarny-olkiluoto> >, [cit. 2014-03-5].

[25] Současná situace s jadernými elektrárnami v Evropě

Dostupné z WWW: < <http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/transmutace/noveelektrarny.htm>>, [cit. 2014-03-10].

[26] Reaktory IV. generace

Dostupné z WWW: < <http://atominfo.cz/2013/01/dostavba-jaderne-elektrarny-v-mochovcich-se-opozdi-asi-o-dva-roky/>>, [cit. 2014-03-10].

[27] Dostavba jaderné elektrárny v Mohovicích

Dostupné z WWW: < <http://www.allforpower.cz/clanek/prvni-beton-pro-4-blok-cinske-jaderne-elektrarny-tianwan/>>, [cit. 2014-03-11].

[28] Jaderná energetika na prahu roku 2014

Dostupné z WWW: < <http://www.osel.cz/index.php?clanek=7383>>, [cit. 2014-03-11].

[29] Čína obnovila práce na největší jaderné elektrárně na světě

Dostupné z WWW: < <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cina-obnovila-prace-na-stavbe-nejvetsi-jaderne-elektrarny-944114> >, [cit. 2014-03-13].

[30] Výstavba jaderné elektrárny v Japonsku

Dostupné z WWW: < <http://atominfo.cz/2012/10/v-japonsku-byla-poprve-po-fukusime-obnovena-vystavba-jaderne-elektrarny/> >, [cit. 2014-03-13].

[31] Kurzy devizového trhu

Dostupné z WWW:

<[http://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/denni\\_kurz.jsp](http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp)>, [cit. 2014-04-08].

[32] Není jasné, kolik bude stát dostavba jaderné elektrárny Temelín

Dostupné z WWW: < <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/ekonomika/170001-dlouhy-neni-jasne-kolik-bude-stat-dostavba-temelina-a-kdo-ji-zaplati> >, [cit. 2014-04-08].

[33] Cena dostavby Temelína

Dostupné z WWW: < <http://www.patria.cz/zpravodajstvi/2365549/nemcova-dostavba-temelina-bude-stat-vice-nez-300-miliard-korun.html> >, [cit. 2014-04-10].

[34] Náklady, provoz a likvidace jaderné elektrárny

Dostupné z WWW: < <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/Costs-Fuel,-Operation,-Waste-Disposal-Life-Cycle> >, [cit. 2014-04-10].

[35] Ekonomika jaderných zdrojů

Dostupné z WWW: < <http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/>>, [cit. 2014-04-10].

[36] Palivový cyklus jaderné elektrárny Temelín

Dostupné z WWW:

<[https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/11531/xjezek07\\_BP.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/11531/xjezek07_BP.pdf?sequence=1)>, [cit. 2014-04-12].

[37] Palivové vsázky se zdokonaleným palivem pro jadernou elektrárnu Dukovany

Dostupné z WWW: < <http://danes.burket.cz/files/burketdp.pdf> >, [cit. 2014-04-12].

[38] Palivové cykly reaktorů 3. a 3+ generace pro nové jaderné zdroje

Dostupné z WWW:

<[https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3958/Palivove\\_cykly\\_reaktoru\\_3.\\_a\\_3%2B\\_generace\\_pro\\_NJZ.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3958/Palivove_cykly_reaktoru_3._a_3%2B_generace_pro_NJZ.pdf?sequence=1)>, [cit. 2014-04-16].

[39] Bez jádra to nepůjde, Václav Vaňek, Vydal ČEZ, a. s., 2008

Dostupné z WWW:

<[https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3958/Palivove\\_cykly\\_reaktoru\\_3.\\_a\\_3%2B\\_generace\\_pro\\_NJZ.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3958/Palivove_cykly_reaktoru_3._a_3%2B_generace_pro_NJZ.pdf?sequence=1)>, [cit. 2014-04-12].

[40] Palivové cykly reaktorů 3. a 3+ generace pro nové jaderné zdroje

Dostupné z WWW:

<[https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3958/Palivove\\_cykly\\_reaktoru\\_3.\\_a\\_3%2B\\_generace\\_pro\\_NJZ.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/3958/Palivove_cykly_reaktoru_3._a_3%2B_generace_pro_NJZ.pdf?sequence=1)>, [cit. 2014-04-16].

[41] Jaderná energetika, autoři František Klik a Jaroslav Daliba, vydavatelství ČVUT Praha 2002

## Seznam použitých obrázků a tabulek

Obrázek. č. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Typy reaktorů

Dostupné z WWW:

<[http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/typy\\_2.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/typy_2.html)>, [cit. 2013-10-15].

Obrázek. č. 8. Připomenutí jednotlivých generací jaderných reaktorů

dostupný z WWW: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=3568>>, [cit. 2013-11-05].

Obrázek. č. 9, 10. Připomenutí jednotlivých generací jaderných reaktorů

dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/zvazovana-dostavba-elektrarny-temelin/duvody-dostavby.html>>, [cit. 2014-03-05].

Obrázek. č. 11. Reaktor MIR 1200

dostupný z WWW: <<http://www.skoda-js.cz/cs/mir-1200/parametry-projektu-mir-1200/technologie.shtml>>, [cit. 2014-03-05].

Obrázek. č. 12. Reaktor AP 1000

dostupný z WWW: <<http://ap1000.westinghousenuclear.cz/reaktor/>>, [cit. 2014-03-10].

Obrázek. č. 13. Energetika ve světě

dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html>>, [cit. 2014-03-10].

Tabulka č. 1 elektroenergetika 1- jaderné elektrárny

Dostupné z WWW:

<<https://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika%201-Jaderne%20elektrarny.pdf>>, [cit. 2013-11-05].

Tabulka č. 2 Cena palivového souboru vztažená na 1 kg

Dostupné z WWW: <<http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/>>, [cit. 2014-04-10].

## **Přílohy**

Seznam příloh:

Příloha č. 1

Příloha č. 2

Příloha č. 3

Příloha č. 4

Příloha č. 5

Příloha č. 6 – na přiloženém cd



Příloha č. 1

| Souhrnné údaje                                |                     |
|---|---------------------|
| Kurz dolaru                                   | 19,90 Kč            |
| Kurz eura                                     | 27,40 Kč            |
| Inflace                                       | 2%                  |
|   |                     |
| Instalovaný výkon elektrárny                  | 2 000MW             |
| Provozní hodiny za 1 rok                      | 7920h               |
| Vyrobena elektřina za 1 rok                   | 15,84 TWh           |
| Vyrobena elektřina za 60 let                  | 960 TWh             |
|   |                     |
| Cena výstavby jaderné elektrárny              | 300 miliard Kč      |
|   |                     |
| Cena paliva za 1 rok (2014)                   | 1,622 miliard Kč    |
| Cena paliva za 61 let                         | 210,117 miliard Kč  |
|   |                     |
| Náklady na údržbu za 1 rok (2019)             | 0,38 Kč /kWh        |
| Náklady na údržbu za 1 rok (2019)             | 5,974 miliard Kč    |
| Celkové náklady na údržbu za 61 let           | 44,254 Kč /kWh      |
| Celkové náklady na údržbu za 61 let           | 700,990 miliard Kč  |
|   |                     |
| Cena likvidace jaderné elektrárny v roce 2014 | 13,93 miliard Kč    |
| Cena likvidace jaderné elektrárny za 61 let   | 50,462 miliard Kč   |
| Roční vklad (při úroku 5%)                    | 142,717 miliónu Kč  |
| Celkově vynaložená částka                     | 8,563 miliard Kč    |
|   |                     |
| Celkové náklady                               | 1219,670 miliard Kč |
| Celkové náklady                               | 46,84 eur/MWh       |
| Celkové náklady                               | 1283 Kč /MWh        |
|   |                     |
| Garantovaná cena                              | 70 Eur/MWh          |
| Výnos za 1 rok                                | 30,381 miliard Kč   |
| Celkový výnos                                 | 1822,867 miliard Kč |
|   |                     |
| Celkový zisk                                  | 603,197 miliard Kč  |
| NPV   | 30,462 miliard Kč   |

# Příloha č. 2

|                 |      | Celkové                       |                              |                            |                      |
|-----------------|------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
|                 |      | Náklady                       | Výnosy                       | Zisk                       |                      |
|                 |      | 1219,67                       | 1822,867                     | 603,197                    |                      |
|                 |      | 1283                          | 1918                         | 635                        | Kč/MWh               |
|                 |      | 46,84                         | 70                           | 23,16                      | Eur/MWh              |
|                 | Roky | Náklady v jednotlivých letech | Výnosy v jednotlivých letech | Zisk v jednotlivých letech | Výše diskontu v %    |
|                 |      | miliard Kč                    | miliard Kč                   | miliard Kč                 | 0,05                 |
|                 |      |                               |                              |                            | NPV                  |
|                 |      |                               |                              |                            | 30 462 361 941,88 Kč |
|                 |      |                               |                              |                            | IRR                  |
| Výstavba        | 1    | 300                           | 0                            | -300                       | 6%                   |
|                 | 2    |                               | 0                            |                            |                      |
|                 | 3    |                               | 0                            |                            |                      |
|                 | 4    |                               | 0                            |                            |                      |
|                 | 5    |                               | 0                            |                            |                      |
| Zkušební provoz | 6    | 7,765                         | 0                            | -7,765                     |                      |
| Provoz          | 7    | 8,063                         | 30,381                       | 22,318                     |                      |
|                 | 8    | 8,222                         | 30,381                       | 22,16                      |                      |
|                 | 9    | 8,383                         | 30,381                       | 21,998                     |                      |
|                 | 10   | 8,548                         | 30,381                       | 21,833                     |                      |
|                 | 11   | 8,716                         | 30,381                       | 21,665                     |                      |
|                 | 12   | 8,888                         | 30,381                       | 21,494                     |                      |
|                 | 13   | 9,062                         | 30,381                       | 21,319                     |                      |
|                 | 14   | 9,241                         | 30,381                       | 21,14                      |                      |
|                 | 15   | 9,423                         | 30,381                       | 20,958                     |                      |
|                 | 16   | 9,608                         | 30,381                       | 20,773                     |                      |
|                 | 17   | 9,798                         | 30,381                       | 20,583                     |                      |
|                 | 18   | 9,991                         | 30,381                       | 20,39                      |                      |
|                 | 19   | 10,188                        | 30,381                       | 20,193                     |                      |
|                 | 20   | 10,389                        | 30,381                       | 19,992                     |                      |
|                 | 21   | 10,594                        | 30,381                       | 19,788                     |                      |
|                 | 22   | 10,803                        | 30,381                       | 19,578                     |                      |
|                 | 23   | 11,016                        | 30,381                       | 19,365                     |                      |
|                 | 24   | 11,233                        | 30,381                       | 19,148                     |                      |
|                 | 25   | 11,455                        | 30,381                       | 18,926                     |                      |
|                 | 26   | 11,681                        | 30,381                       | 18,7                       |                      |
|                 | 27   | 11,912                        | 30,381                       | 18,469                     |                      |
|                 | 28   | 12,148                        | 30,381                       | 18,234                     |                      |
|                 | 29   | 12,388                        | 30,381                       | 17,994                     |                      |
|                 | 30   | 12,632                        | 30,381                       | 17,749                     |                      |
|                 | 31   | 12,882                        | 30,381                       | 17,499                     |                      |
|                 | 32   | 13,137                        | 30,381                       | 17,244                     |                      |
|                 | 33   | 13,397                        | 30,381                       | 16,984                     |                      |
|                 | 34   | 13,662                        | 30,381                       | 16,719                     |                      |
|                 | 35   | 13,932                        | 30,381                       | 16,449                     |                      |
|                 | 36   | 14,208                        | 30,381                       | 16,173                     |                      |
|                 | 37   | 14,49                         | 30,381                       | 15,892                     |                      |
|                 | 38   | 14,776                        | 30,381                       | 15,605                     |                      |
|                 | 39   | 15,069                        | 30,381                       | 15,312                     |                      |
|                 | 40   | 15,368                        | 30,381                       | 15,013                     |                      |
|                 | 41   | 15,672                        | 30,381                       | 14,709                     |                      |
|                 | 42   | 15,983                        | 30,381                       | 14,398                     |                      |
|                 | 43   | 16,3                          | 30,381                       | 14,082                     |                      |
|                 | 44   | 16,623                        | 30,381                       | 13,758                     |                      |
|                 | 45   | 16,952                        | 30,381                       | 13,429                     |                      |
|                 | 46   | 17,289                        | 30,381                       | 13,093                     |                      |
|                 | 47   | 17,631                        | 30,381                       | 12,75                      |                      |
|                 | 48   | 17,981                        | 30,381                       | 12,4                       |                      |
|                 | 49   | 18,338                        | 30,381                       | 12,043                     |                      |
|                 | 50   | 18,702                        | 30,381                       | 11,679                     |                      |
|                 | 51   | 19,073                        | 30,381                       | 11,308                     |                      |
|                 | 52   | 19,452                        | 30,381                       | 10,929                     |                      |
|                 | 53   | 19,838                        | 30,381                       | 10,543                     |                      |
|                 | 54   | 20,232                        | 30,381                       | 10,149                     |                      |
|                 | 55   | 20,634                        | 30,381                       | 9,748                      |                      |
|                 | 56   | 21,043                        | 30,381                       | 9,338                      |                      |
|                 | 57   | 21,461                        | 30,381                       | 8,92                       |                      |
|                 | 58   | 21,888                        | 30,381                       | 8,493                      |                      |
|                 | 59   | 22,323                        | 30,381                       | 8,058                      |                      |
|                 | 60   | 22,766                        | 30,381                       | 7,615                      |                      |
|                 | 61   | 23,219                        | 30,381                       | 7,162                      |                      |
|                 | 62   | 23,68                         | 30,381                       | 6,701                      |                      |
|                 | 63   | 24,151                        | 30,381                       | 6,23                       |                      |
|                 | 64   | 24,631                        | 30,381                       | 5,75                       |                      |
|                 | 65   | 25,121                        | 30,381                       | 5,26                       |                      |
|                 | 66   | 25,62                         | 30,381                       | 4,761                      |                      |

# Příloha č. 3

|                 |      | Celkové                       |                              |                            | kč/MWh<br>Eur/MWh     |
|-----------------|------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
|                 |      | Náklady                       | Výnosy                       | Zisk                       |                       |
|                 |      | 1219,67                       | 2083,277                     | 863,607                    |                       |
|                 |      | 1283                          | 2192                         | 909                        |                       |
|                 |      | 46,84                         | 80                           | 33,16                      |                       |
|                 | Roky | Náklady v jednotlivých letech | Výnosy v jednotlivých letech | Zisk v jednotlivých letech | Výše diskontu v %     |
|                 |      | miliard Kč                    | miliard Kč                   | miliard Kč                 | 0,05                  |
|                 |      |                               |                              |                            | NPV                   |
|                 |      |                               |                              |                            | 108 706 309 775,34 Kč |
| Výstavba        | 1    | 300                           | 0                            | -300                       | IRR                   |
|                 | 2    |                               | 0                            |                            | 7%                    |
|                 | 3    |                               | 0                            |                            |                       |
|                 | 4    |                               | 0                            |                            |                       |
|                 | 5    |                               | 0                            |                            |                       |
| Zkušební provoz | 6    | 7,765                         | 0                            | -7,765                     |                       |
| Provoz          | 7    | 8,063                         | 34,721                       | 26,658                     |                       |
|                 | 8    | 8,222                         | 34,721                       | 26,5                       |                       |
|                 | 9    | 8,383                         | 34,721                       | 26,338                     |                       |
|                 | 10   | 8,548                         | 34,721                       | 26,173                     |                       |
|                 | 11   | 8,716                         | 34,721                       | 26,005                     |                       |
|                 | 12   | 8,888                         | 34,721                       | 25,834                     |                       |
|                 | 13   | 9,062                         | 34,721                       | 25,659                     |                       |
|                 | 14   | 9,241                         | 34,721                       | 25,48                      |                       |
|                 | 15   | 9,423                         | 34,721                       | 25,298                     |                       |
|                 | 16   | 9,608                         | 34,721                       | 25,113                     |                       |
|                 | 17   | 9,798                         | 34,721                       | 24,924                     |                       |
|                 | 18   | 9,991                         | 34,721                       | 24,73                      |                       |
|                 | 19   | 10,188                        | 34,721                       | 24,533                     |                       |
|                 | 20   | 10,389                        | 34,721                       | 24,333                     |                       |
|                 | 21   | 10,594                        | 34,721                       | 24,128                     |                       |
|                 | 22   | 10,803                        | 34,721                       | 23,919                     |                       |
|                 | 23   | 11,016                        | 34,721                       | 23,705                     |                       |
|                 | 24   | 11,233                        | 34,721                       | 23,488                     |                       |
|                 | 25   | 11,455                        | 34,721                       | 23,266                     |                       |
|                 | 26   | 11,681                        | 34,721                       | 23,04                      |                       |
|                 | 27   | 11,912                        | 34,721                       | 22,809                     |                       |
|                 | 28   | 12,148                        | 34,721                       | 22,574                     |                       |
|                 | 29   | 12,388                        | 34,721                       | 22,334                     |                       |
|                 | 30   | 12,632                        | 34,721                       | 22,089                     |                       |
|                 | 31   | 12,882                        | 34,721                       | 21,839                     |                       |
|                 | 32   | 13,137                        | 34,721                       | 21,584                     |                       |
|                 | 33   | 13,397                        | 34,721                       | 21,324                     |                       |
|                 | 34   | 13,662                        | 34,721                       | 21,059                     |                       |
|                 | 35   | 13,932                        | 34,721                       | 20,789                     |                       |
|                 | 36   | 14,208                        | 34,721                       | 20,513                     |                       |
|                 | 37   | 14,49                         | 34,721                       | 20,232                     |                       |
|                 | 38   | 14,776                        | 34,721                       | 19,945                     |                       |
|                 | 39   | 15,069                        | 34,721                       | 19,652                     |                       |
|                 | 40   | 15,368                        | 34,721                       | 19,354                     |                       |
|                 | 41   | 15,672                        | 34,721                       | 19,049                     |                       |
|                 | 42   | 15,983                        | 34,721                       | 18,738                     |                       |
|                 | 43   | 16,3                          | 34,721                       | 18,422                     |                       |
|                 | 44   | 16,623                        | 34,721                       | 18,099                     |                       |
|                 | 45   | 16,952                        | 34,721                       | 17,769                     |                       |
|                 | 46   | 17,289                        | 34,721                       | 17,433                     |                       |
|                 | 47   | 17,631                        | 34,721                       | 17,09                      |                       |
|                 | 48   | 17,981                        | 34,721                       | 16,74                      |                       |
|                 | 49   | 18,338                        | 34,721                       | 16,383                     |                       |
|                 | 50   | 18,702                        | 34,721                       | 16,019                     |                       |
|                 | 51   | 19,073                        | 34,721                       | 15,648                     |                       |
|                 | 52   | 19,452                        | 34,721                       | 15,27                      |                       |
|                 | 53   | 19,838                        | 34,721                       | 14,883                     |                       |
|                 | 54   | 20,232                        | 34,721                       | 14,49                      |                       |
|                 | 55   | 20,634                        | 34,721                       | 14,088                     |                       |
|                 | 56   | 21,043                        | 34,721                       | 13,678                     |                       |
|                 | 57   | 21,461                        | 34,721                       | 13,26                      |                       |
|                 | 58   | 21,888                        | 34,721                       | 12,834                     |                       |
|                 | 59   | 22,323                        | 34,721                       | 12,399                     |                       |
|                 | 60   | 22,766                        | 34,721                       | 11,955                     |                       |
|                 | 61   | 23,219                        | 34,721                       | 11,503                     |                       |
|                 | 62   | 23,68                         | 34,721                       | 11,041                     |                       |
|                 | 63   | 24,151                        | 34,721                       | 10,57                      |                       |
|                 | 64   | 24,631                        | 34,721                       | 10,09                      |                       |
|                 | 65   | 25,121                        | 34,721                       | 9,6                        |                       |
|                 | 66   | 25,62                         | 34,721                       | 9,101                      |                       |

# Příloha č. 4

|                 |    | Celkové                       |                              |                            |                        |
|-----------------|----|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|
|                 |    | Náklady                       | Výnosy                       | Zisk                       |                        |
|                 |    | 1219,67                       | 1041,638                     | -178,031                   |                        |
|                 |    | 1283                          | 1096                         | -187                       | Kč/MWh                 |
|                 |    | 46,84                         | 40                           | -6,84                      | Eur/MWh                |
| Roky            |    | Náklady v jednotlivých letech | Výnosy v jednotlivých letech | Zisk v jednotlivých letech | Výše diskontu v %      |
|                 |    | miliard Kč                    | miliard Kč                   | miliard Kč                 | 0,05                   |
|                 |    |                               |                              |                            | NPV                    |
|                 |    |                               |                              |                            | -204 269 481 558,49 Kč |
|                 |    |                               |                              |                            | IRR                    |
| Výstavba        | 1  | 300                           | 0                            | -300                       | #ČÍSLO!                |
|                 | 2  |                               | 0                            |                            |                        |
|                 | 3  |                               | 0                            |                            |                        |
|                 | 4  |                               | 0                            |                            |                        |
|                 | 5  |                               | 0                            |                            |                        |
| Zkušební provoz |    | 6                             | 7,765                        | 0                          | -7,765                 |
| Provoz          | 7  | 8,063                         | 17,361                       | 9,297                      |                        |
|                 | 8  | 8,222                         | 17,361                       | 9,139                      |                        |
|                 | 9  | 8,383                         | 17,361                       | 8,977                      |                        |
|                 | 10 | 8,548                         | 17,361                       | 8,813                      |                        |
|                 | 11 | 8,716                         | 17,361                       | 8,645                      |                        |
|                 | 12 | 8,888                         | 17,361                       | 8,473                      |                        |
|                 | 13 | 9,062                         | 17,361                       | 8,298                      |                        |
|                 | 14 | 9,241                         | 17,361                       | 8,12                       |                        |
|                 | 15 | 9,423                         | 17,361                       | 7,938                      |                        |
|                 | 16 | 9,608                         | 17,361                       | 7,752                      |                        |
|                 | 17 | 9,798                         | 17,361                       | 7,563                      |                        |
|                 | 18 | 9,991                         | 17,361                       | 7,37                       |                        |
|                 | 19 | 10,188                        | 17,361                       | 7,173                      |                        |
|                 | 20 | 10,389                        | 17,361                       | 6,972                      |                        |
|                 | 21 | 10,594                        | 17,361                       | 6,767                      |                        |
|                 | 22 | 10,803                        | 17,361                       | 6,558                      |                        |
|                 | 23 | 11,016                        | 17,361                       | 6,345                      |                        |
|                 | 24 | 11,233                        | 17,361                       | 6,127                      |                        |
|                 | 25 | 11,455                        | 17,361                       | 5,906                      |                        |
|                 | 26 | 11,681                        | 17,361                       | 5,679                      |                        |
|                 | 27 | 11,912                        | 17,361                       | 5,449                      |                        |
|                 | 28 | 12,148                        | 17,361                       | 5,213                      |                        |
|                 | 29 | 12,388                        | 17,361                       | 4,973                      |                        |
|                 | 30 | 12,632                        | 17,361                       | 4,728                      |                        |
|                 | 31 | 12,882                        | 17,361                       | 4,478                      |                        |
|                 | 32 | 13,137                        | 17,361                       | 4,224                      |                        |
|                 | 33 | 13,397                        | 17,361                       | 3,964                      |                        |
|                 | 34 | 13,662                        | 17,361                       | 3,699                      |                        |
|                 | 35 | 13,932                        | 17,361                       | 3,428                      |                        |
|                 | 36 | 14,208                        | 17,361                       | 3,152                      |                        |
|                 | 37 | 14,49                         | 17,361                       | 2,871                      |                        |
|                 | 38 | 14,776                        | 17,361                       | 2,584                      |                        |
|                 | 39 | 15,069                        | 17,361                       | 2,291                      |                        |
|                 | 40 | 15,368                        | 17,361                       | 1,993                      |                        |
|                 | 41 | 15,672                        | 17,361                       | 1,688                      |                        |
|                 | 42 | 15,983                        | 17,361                       | 1,378                      |                        |
|                 | 43 | 16,3                          | 17,361                       | 1,061                      |                        |
|                 | 44 | 16,623                        | 17,361                       | 0,738                      |                        |
|                 | 45 | 16,952                        | 17,361                       | 0,408                      |                        |
|                 | 46 | 17,289                        | 17,361                       | 0,072                      |                        |
|                 | 47 | 17,631                        | 17,361                       | -0,271                     |                        |
|                 | 48 | 17,981                        | 17,361                       | -0,621                     |                        |
|                 | 49 | 18,338                        | 17,361                       | -0,977                     |                        |
|                 | 50 | 18,702                        | 17,361                       | -1,341                     |                        |
|                 | 51 | 19,073                        | 17,361                       | -1,712                     |                        |
|                 | 52 | 19,452                        | 17,361                       | -2,091                     |                        |
|                 | 53 | 19,838                        | 17,361                       | -2,477                     |                        |
|                 | 54 | 20,232                        | 17,361                       | -2,871                     |                        |
|                 | 55 | 20,634                        | 17,361                       | -3,273                     |                        |
|                 | 56 | 21,043                        | 17,361                       | -3,683                     |                        |
|                 | 57 | 21,461                        | 17,361                       | -4,101                     |                        |
|                 | 58 | 21,888                        | 17,361                       | -4,527                     |                        |
|                 | 59 | 22,323                        | 17,361                       | -4,962                     |                        |
|                 | 60 | 22,766                        | 17,361                       | -5,406                     |                        |
|                 | 61 | 23,219                        | 17,361                       | -5,858                     |                        |
|                 | 62 | 23,68                         | 17,361                       | -6,32                      |                        |
|                 | 63 | 24,151                        | 17,361                       | -6,79                      |                        |
|                 | 64 | 24,631                        | 17,361                       | -7,27                      |                        |
|                 | 65 | 25,121                        | 17,361                       | -7,76                      |                        |
|                 | 66 | 25,62                         | 17,361                       | -8,26                      |                        |

# Příloha č. 5

|                 |      | Celkové                       |                              |                            |                   |
|-----------------|------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------|
|                 |      | Náklady                       | Výnosy                       | Zisk                       |                   |
|                 |      | 1219,67                       | 1721,483                     | 501,813                    |                   |
|                 |      | 1283                          | 1811                         | 528                        | Kč/MWh            |
|                 |      | 46,84                         | 66,11                        | 19,27                      | Eur/MWh           |
|                 |      | Náklady v jednotlivých letech | Výnosy v jednotlivých letech | Zisk v jednotlivých letech | Výše diskontu v % |
|                 |      | miliard Kč                    | miliard Kč                   | miliard Kč                 | 0,05              |
|                 |      |                               |                              |                            | NPV               |
|                 |      |                               |                              |                            | 0,00 Kč           |
|                 |      |                               |                              |                            |                   |
|                 |      |                               |                              |                            | IRR               |
|                 |      |                               |                              |                            | 5%                |
| Výstavba        | Roky |                               |                              |                            |                   |
|                 | 1    |                               | 0                            |                            |                   |
|                 | 2    |                               | 0                            |                            |                   |
|                 | 3    | 300                           | 0                            | -300                       |                   |
|                 | 4    |                               | 0                            |                            |                   |
| Zkušební provoz | 5    |                               | 0                            |                            |                   |
|                 | 6    | 7,765                         | 0                            | -7,765                     |                   |
|                 | 7    | 8,063                         | 28,691                       | 20,628                     |                   |
|                 | 8    | 8,222                         | 28,691                       | 20,47                      |                   |
|                 | 9    | 8,383                         | 28,691                       | 20,308                     |                   |
| Provoz          | 10   | 8,548                         | 28,691                       | 20,143                     |                   |
|                 | 11   | 8,716                         | 28,691                       | 19,975                     |                   |
|                 | 12   | 8,888                         | 28,691                       | 19,804                     |                   |
|                 | 13   | 9,062                         | 28,691                       | 19,629                     |                   |
|                 | 14   | 9,241                         | 28,691                       | 19,451                     |                   |
|                 | 15   | 9,423                         | 28,691                       | 19,269                     |                   |
|                 | 16   | 9,608                         | 28,691                       | 19,083                     |                   |
|                 | 17   | 9,798                         | 28,691                       | 18,894                     |                   |
|                 | 18   | 9,991                         | 28,691                       | 18,701                     |                   |
|                 | 19   | 10,188                        | 28,691                       | 18,504                     |                   |
|                 | 20   | 10,389                        | 28,691                       | 18,303                     |                   |
|                 | 21   | 10,594                        | 28,691                       | 18,098                     |                   |
|                 | 22   | 10,803                        | 28,691                       | 17,889                     |                   |
|                 | 23   | 11,016                        | 28,691                       | 17,676                     |                   |
|                 | 24   | 11,233                        | 28,691                       | 17,458                     |                   |
|                 | 25   | 11,455                        | 28,691                       | 17,236                     |                   |
|                 | 26   | 11,681                        | 28,691                       | 17,01                      |                   |
|                 | 27   | 11,912                        | 28,691                       | 16,779                     |                   |
|                 | 28   | 12,148                        | 28,691                       | 16,544                     |                   |
|                 | 29   | 12,388                        | 28,691                       | 16,304                     |                   |
|                 | 30   | 12,632                        | 28,691                       | 16,059                     |                   |
|                 | 31   | 12,882                        | 28,691                       | 15,809                     |                   |
|                 | 32   | 13,137                        | 28,691                       | 15,554                     |                   |
|                 | 33   | 13,397                        | 28,691                       | 15,294                     |                   |
|                 | 34   | 13,662                        | 28,691                       | 15,029                     |                   |
|                 | 35   | 13,932                        | 28,691                       | 14,759                     |                   |
|                 | 36   | 14,208                        | 28,691                       | 14,483                     |                   |
|                 | 37   | 14,49                         | 28,691                       | 14,202                     |                   |
|                 | 38   | 14,776                        | 28,691                       | 13,915                     |                   |
|                 | 39   | 15,069                        | 28,691                       | 13,622                     |                   |
|                 | 40   | 15,368                        | 28,691                       | 13,324                     |                   |
|                 | 41   | 15,672                        | 28,691                       | 13,019                     |                   |
|                 | 42   | 15,983                        | 28,691                       | 12,709                     |                   |
|                 | 43   | 16,3                          | 28,691                       | 12,392                     |                   |
|                 | 44   | 16,623                        | 28,691                       | 12,069                     |                   |
|                 | 45   | 16,952                        | 28,691                       | 11,739                     |                   |
|                 | 46   | 17,289                        | 28,691                       | 11,403                     |                   |
|                 | 47   | 17,631                        | 28,691                       | 11,06                      |                   |
|                 | 48   | 17,981                        | 28,691                       | 10,71                      |                   |
|                 | 49   | 18,338                        | 28,691                       | 10,353                     |                   |
|                 | 50   | 18,702                        | 28,691                       | 9,99                       |                   |
|                 | 51   | 19,073                        | 28,691                       | 9,618                      |                   |
|                 | 52   | 19,452                        | 28,691                       | 9,24                       |                   |
|                 | 53   | 19,838                        | 28,691                       | 8,854                      |                   |
|                 | 54   | 20,232                        | 28,691                       | 8,46                       |                   |
|                 | 55   | 20,634                        | 28,691                       | 8,058                      |                   |
|                 | 56   | 21,043                        | 28,691                       | 7,648                      |                   |
|                 | 57   | 21,461                        | 28,691                       | 7,23                       |                   |
|                 | 58   | 21,888                        | 28,691                       | 6,804                      |                   |
|                 | 59   | 22,323                        | 28,691                       | 6,369                      |                   |
|                 | 60   | 22,766                        | 28,691                       | 5,925                      |                   |
|                 | 61   | 23,219                        | 28,691                       | 5,473                      |                   |
|                 | 62   | 23,68                         | 28,691                       | 5,011                      |                   |
|                 | 63   | 24,151                        | 28,691                       | 4,54                       |                   |
|                 | 64   | 24,631                        | 28,691                       | 4,06                       |                   |
|                 | 65   | 25,121                        | 28,691                       | 3,57                       |                   |
|                 | 66   | 25,62                         | 28,691                       | 3,071                      |                   |